



Reduktion af metanemissionen fra Klintholm losseplads ved etablering af biocover

Pedersen, Rasmus Broen; Scheutz, Charlotte; Kjeldsen, Peter; Haugsted Petersen, Per

Publication date:
2012

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Pedersen, R. B., Scheutz, C., Kjeldsen, P., & Haugsted Petersen, P. (2012). *Reduktion af metanemissionen fra Klintholm losseplads ved etablering af biocover*. Miljøstyrelsen. Miljøprojekt No. 1401
<http://www.mst.dk/Publikationer/Publikationer/2012/marts/978-87-92779-77-9.htm>

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.



Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

Reduktion af metanemissionen fra Klintholm losseplads ved etablering af biocover

Rasmus Broen Pedersen, Charlotte Scheutz & Peter
Kjeldsen

DTU Miljø, Danmarks Tekniske Universitet, Miljøvej,
Bygning 113, 2800 Lyngby

Per Haugsted Petersen

Rambøll Danmark A/S, Englandsgade 25, 5000
Odense C

Klintholm I/S, Klintholmvej 50, 5874 Hesselager

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling.

Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter.

Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Indhold

FORORD	6
SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER	8
SUMMARY AND CONCLUSIONS	11
1 INDLEDNING	14
1.1 GENEREL INTRODUKTION	14
1.2 BIOCOVERPROJEKT PÅ KLINTHOLM	15
1.3 PROJEKTAKTIVITETER	16
1.4 RAPPORTENS INDHOLD OG OPBYGNING	16
1.4.1 Kort beskrivelse af deponi på Klintholm	16
1.4.2 Indledende undersøgelse og estimering af gasdannelse	16
1.4.3 Vurdering af eksisterende metanemission ("baseline study")	16
1.4.4 Test af materialer og opbygning af biovinduer	17
1.4.5 Etablering af biocover-system	17
1.4.6 Monitering af biocoversystemets virkningsgrad	17
1.4.7 Økonomisk vurdering herunder CO ₂ -reduktionsenhedspriser	17
1.4.8 Rapportering og formidling	18
2 KORT BESKRIVELSE AF DEPONI PÅ KLINTHOLM	19
3 INDLEDENDE UNDERSØGELSER	20
3.1 AFFALDSDEPONERING	20
3.2 GASPRODUKTION	21
3.3 SAMMENDRAG AF INDLEDENDE UNDERSØGELSER	24
4 EKSISTERENDE METANEMISSION ("BASELINE STUDY")	25
4.1 METODEBESKRIVELSER	25
4.1.1 Screening af overfladeemission	25
4.1.2 Kvantificering af overfladeemissionen af metan fra hotspots vha. fluxkamre	25
4.1.3 Kvantificering af emissionen af metan fra to tidligere gasudvindingsboringer på etape 026	29
4.1.4 Måling af totalemission	29
4.1.5 Måling af horisontal gastransport	29
4.2 SCREENING AF OVERFLADEEMISSION	30
4.3 MÅLING AF EMISSION FRA PUNKTKILDER	34
4.4 MÅLING AF TOTALEMISSION	35
4.5 MÅLING AF HORIZONTAL GASTRANSPORT	37
4.6 METANEMISSIONSMÅLINGER - SAMLET OVERBLIK	39
5 VALG AF MATERIALER TIL BIOCOVER	40
5.1 VALG AF MATERIALER	40
5.2 KOMPOSTMATERIALER	40
5.3 BATCHFORSØG TIL BESTEMMELSE AF POTENTIALET FOR METANOXYDATION, ILTFORBRUG TIL RESPIRATION OG ANAEROB METANPRODUKTIONSPOTENTIALE	41
5.3.1 Opsætning af batchforsøg til bestemmelse af potentialet for metanoxydation, iltforbrug til respiration og anaerob metanproduktionspotentiale	41
5.3.2 Potentialet for metanoxydation bestemt ved batchforsøg	43
5.3.3 Iltforbrug til respiration bestemt ved batchforsøg	44
5.3.4 Potentialet for anaerob metanproduktion bestemt ved batchforsøg	45
5.4 KOLONNEFORSØG TIL BESTEMMELSE AF POTENTIALET FOR METANOXYDATION	45
5.4.1 Opsætning af kolonneforsøg til bestemmelse af metanoxydation samt respiration	45
5.4.2 Bestemmelse af metanoxydation samt respiration i kolonneforsøg	46
5.5 VALG AF KOMPOSTMATERIALE TIL OPBYGNING AF BIOVINDUER	48
6 ETABLERING AF SLUTAFTÆKNING OG BIOVINDUER	49

6.1	INTRO OG BAGGRUND	49
6.2	DESIGN OG ETABLERING AF BIOCOVER SYSTEM	49
6.2.1	<i>Indledende arbejder</i>	49
6.2.2	<i>Render på skråninger til opsamling af gas</i>	49
6.2.3	<i>Biovinduer</i>	50
6.2.4	<i>Afvanding</i>	51
6.2.5	<i>Monitering af totalemissionen under etablering af biocoversystem - før og efter ilægning af kompost</i>	52
7	MONITERING AF METANOXIDATION I BIOCOVER	54
7.1	METODEBESKRIVELSER OG OVERBLIK OVER MONITERINGSARBEJDET	54
7.1.1	<i>Opsætning og funktion af dataloggere til måling af vandindhold og temperatur</i>	57
7.1.2	<i>Prøvetagning fra gasfordelingslaget</i>	58
7.1.3	<i>Installering af gasprober i biocoveret</i>	58
7.1.4	<i>Udførsel af metan-screeninger på overfladen af biocoveret</i>	59
7.1.5	<i>Udførsel af metanemissionsmålinger på overfladen af biocoveret</i>	60
7.1.6	<i>Undersøgelse af metanoxidation</i>	62
7.1.7	<i>Måling af totalemission</i>	62
7.2	TEMPERATUR OG VANDINDHOLD I KOMPOSTLAGET	63
7.3	GASSAMMENSÆTNING I GASFORDELINGSLAGET	68
7.4	GASSAMMENSÆTNING OVER DYBDEN I BIOCOVERET	71
7.5	OVERFLADEEMISSIONEN AF METAN BASERET PÅ FID-SCREENINGER	74
7.6	KVANTIFICERING AF OVERFLADEEMISSIONEN AF METAN BASERET PÅ FLUX-MÅLINGER	77
7.7	UNDERSØGELSE AF METANOXIDATION	80
7.7.1	<i>Temperaturafhængighed</i>	80
7.7.2	<i>Metanoxiderationsraten som fkt. af dybden</i>	81
7.8	MÅLING AF TOTALEMISSION	82
8	ØKONOMI	84
8.1	ETABLERINGSOMKOSTNINGER	84
8.2	FORVENTEDE "SKYGGEPRISE" FOR CO ₂ -EQ. REDUKTION"	84
9	FORMIDLING	87
10	KONKLUSION OG FORSLAG TIL VIDERE ARBEJDE	88
10.1	KONKLUSION	88
10.2	FORSLAG TIL VIDERE ARBEJDE	88
10.3	MONITERINGSPLAN	90
11	REFERENCELISTE	92

Bilag A	- FID-screeninger, Monitering
Bilag B	- Vejrdata, Monitering
Bilag C	- Gasprofiler, Monitering
Bilag D	- Gasfordelingssystem, Monitering
Bilag E	- Fluxmålinger, Monitering
Bilag F	- Totalmålinger 2008-2010, Fluxsense AB
Bilag G	- Estimeret gasproduktion på etape 1 og 2, Rambøll Danmark A/S
Bilag H	- Akkrediterede laboratorieanalyser af kompost fra Biocover
Bilag I	- Estimeret gasproduktion på etape 0 og 1, DTU

Forord

Denne rapport udgør afrapporteringen af projektet "Reduktion af metanemissionen fra Klintholm losseplads ved etablering af biocover". Projektets formål er at reducere metanemissionen fra etape 0 på Klintholm Losseplads med en faktor 10 i forhold til den eksisterende emission ved etablering af et biocover-system bestående af reaktive højpermeable biovinduer, hvor igennem den dannede deponigas vil transporteres og den indeholdte metan blive omsat til kuldioxid.

Projektet er gennemført som et samarbejdsprojekt mellem Klintholm I/S, Institut for Vand og Miljøteknologi på Danmarks Tekniske Universitet og Rambøll Danmark A/S. Efter ansøgning fra Klintholm I/S har Miljøstyrelsen ved skrivelse af 14. december 2007 givet tilsagn om økonomisk støtte til gennemførelse af et biocoverprojekt med slutafdækning og efterbehandling under Virksomhedsordningen.

Projektgruppen har bestået af:

- Charlotte Scheutz, Institut for Vand og Miljøteknologi, DTU
- Peter Kjeldsen, Institut for Vand og Miljøteknologi, DTU
- Jørgen Henrik Bjerge Jørgensen, Klintholm I/S
- Per Haugsted Petersen, Natur og Miljø, Rambøll Danmark A/S
- Dorthe Harrekilde, Natur og Miljø, Rambøll Danmark A/S
- Jes Kromann Bak, Anlæg og Forsyning, Rambøll Danmark A/S

Den ansvarshavende projektleder på projektet er Jørgen Henrik Bjerge Jørgensen med Per Haugsted Petersen som daglig leder af projektet i tæt kontakt til Peter Kjeldsen. Fra Institut for Vand og Miljøteknologi, Danmarks Tekniske Universitet har i øvrigt deltaget: Inmaculada Maria Buendia Ucendo (udførelse af laboratorieforsøg), Bent Skov (udførelse af feltarbejde), og Rasmus Broen Pedersen (udførelse af monitorering af biocover). Herudover har der været to fagpakkestuderende knyttet til projektet.

Miljøstyrelsen og Klima- og Energiministeriet har nedsat en følgegruppe bestående af:

- Lone Lykke Nielsen, Miljøstyrelsen
- Tage Duer, Energistyrelsen (formand)
- Per Ambus, DMU Risø
- Jens Møller Madsen, Miljøcenter Odense

Fra projektgruppen har følgende deltaget i følgegruppen:

- Jørgen Henrik Bjerge Jørgensen, Klintholm I/S
- Charlotte Scheutz, Institut for Vand og Miljøteknologi, DTU
- Peter Kjeldsen, Institut for Vand og Miljøteknologi, DTU
- Per Haugsted Petersen, Rambøll Danmark A/S

Projektet er gennemført i perioden 17. december 2007 til 17. juni 2010.

Sammenfatning og konklusioner

Biocoverprojektet på etape 0 på Klintholm losseplads kan efter afslutningen af monitoringsperioden i juni 2010 konkluderes at have været succesfuldt. Projektets hovedformål - at reducere etapens metanemission med en faktor 10 er tæt på at være opfyldt, idet metanemissionen blev reduceret med 79-93 %. Projektet har også været med til at udbygge de tekniske og CO₂-reduktionsøkonomiske erfaringer med biocover-teknologien, og via det omfattende monitoringsprogram er det desuden for første gang nogensinde blevet dokumenteret, at biocover-teknologien fungerer og kan anvendes som en billig lavteknologisk løsning til håndtering af metanemissioner fra lossepladser.

Projektet har været inddelt i 7 hovedaktiviteter:

1. Indledende undersøgelse af deponietape 0 og estimering af gasdannelse
2. Vurdering af eksisterende metanemission ("baseline study")
3. Test af materialer og opbygning af biovinduer
4. Etablering af biocover-system
5. Monitoring af biocover-system
6. Økonomi og CO₂-reduktionspriser
7. Rapportering og løbende formidling

Estimering af gasproduktionen i etape 0

Etape 0 er påbegyndt i 1980. Etapen er opdelt i to sektioner, hvor der i alt er deponeret ca. 485.000 m³ affald. Både de indledende modelleringer af gasproduktionen og opdaterede mere præcise beregninger, udført ved projektets afslutning viste, at der i 2008 stadig var en væsentlig gasproduktion i det deponerede affald på etape 0.

Vurdering af eksisterende metanemission ("baseline study")

Med formålet at undersøge den eksisterende metanemissionen på etape 0 blev der indledningsvis udført en række forskellige undersøgelser. Overfladescreeninger på etape 0 viste, at de fleste hotspot-områder var at finde på etapens skrænter, hvilket indikerede, at gassen primært bevægede sig ud gennem siderne af deponiet, formentlig pga. affaldets lagdelte struktur som følge af kompakteringen under deponeringen. Efterfølgende målinger af gasemissionen fra hotspot-områderne, udført vha. anvendelsen af fluxkamre, viste, at der var en stor rumlig variation i gasemissionen således, at målinger taget med meget kort indbyrdes afstand viste meget forskellig emission. Den gennemsnitlige emission af metan varierede mellem 1 g m⁻² d⁻¹ og 586 g m⁻² d⁻¹ for de forskellige hotspot, mens emissionen af kuldioxid varierede mellem 28 g m⁻² d⁻¹ og 907 g m⁻² d⁻¹. Den samlede metanemission fra hotspot-områderne på etape 0 blev på baggrund af disse målinger estimeret til 55,5 kg d⁻¹. Derudover blev det fundet, at 5,1 kg CH₄ d⁻¹ blev frigivet fra to tidligere gasindvindingsboringer.

Til nærmere bestemmelse af den eksisterende metanemission fra deponiet blev der i april og august 2008 udført to totalmålinger. Her blev den gennemsnitlige metanemission fra deponiet (etape 0, etape 1 og komposteringsarealet) målt og forsøgt opdelt i bidrag fra de forskellige områder. På grund af den tætte beliggenhed var det ikke muligt at adskille bidragene fra etape 0 og etape 1. Deres samlede gennemsnitlige metanemissionen på 15,0 kg t⁻¹ blev derfor i stedet opdelt ud fra forholdet imellem etapernes beregnede gasproduktioner. Metanemissionen fra etape 0 blev på baggrund heraf fastlagt til ca. 8,3 kg t⁻¹.

Test af materialer til opbygning af biovinduer

Kompost vurderes som et velegnet materiale til konstruktion af biovinduer, da det har en høj permeabilitet, høj vandtilbageholdelsekapacitet, lav termisk ledningsevne, stor specifik overflade og ofte en høj mikrobiologisk aktivitet.

For at kunne udvælge den bedst egnede komposttype til opbygningen af biovinduerne blev metanoxideringspotentialer for en række forskellige typer af kompost og kompostsammensætninger undersøgt i laboratoriet ved udførsel af batch- og kolonneforsøg. På baggrund heraf valgte man at benytte en blanding af have-park kompost fra komposteringsanlægget i Svendborg og køkkenkompost fra Klintholm i forholdet 7/2 til biovinduerne. I kolonneforsøg blev blandingens metanoxideringsrate under steady state

(stabile) forhold målt til ca. $96 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, hvilket er sammenligneligt med rater set i kolonneforsøg med kompostmaterialer fra andre deponier (Fakse Losseplads), hvor der sås rater mellem 45 og $120 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ under steady state forhold (Pedersen et al., 2010a).

Etablering af biocover-system

Anlægsarbejdet blev udført i perioden april-september 2009. På baggrund af de indledende undersøgelser blev det besluttet, at der på skråningerne gravedes render fra fod til top med punktvis kontakt til affaldet. Disse drænrender er ført op ad skråningerne og ind under biovinduerne. Renderne er udgravet med en indbyrdes afstand på ca. 15 m. På denne måde opsamles gassen langs skråningerne og ledes op under biovinduerne, der er placeret ved skråningernes top. Biovinduerne er 10 m brede og udgør et samlet areal på ca. 4800 m^2 . I bunden er der udlagt 0,3 m groft nedklistret betonmateriale (gasfordelingslag) og herover 0,7 m kompost. Under biovinduerne er der gravet en langsgående 0,8 m bred rende, der har fuld kontakt til affaldet. For at der kan udtages gasprøver fra forskellige områder, er biovinduerne opdelt i sektioner. Mellem sektionerne er både dræn og drænrender afbrudt. Efter konstruktionen af biocoversystemet blev der foretaget to totalmålinger af deponiets metanemission. Målingerne blev foretaget henholdsvis før og efter ilægning af kompost i biovinduerne og viste metanemissioner på $11,2 \text{ kg t}^{-1}$ og $12,1 \text{ kg t}^{-1}$ respektivt. Gasfordelingssystemet var på dette tidspunkt endnu ikke lukket til, hvorfor målingerne ikke siger noget om effektiviteten af det nyanlagte biocover. Den beskedne reduktion ift. baseline-målingerne, der observeres, kan skyldes, at der var blevet etableret kolonier med metanotrofe bakterier i gasfordelingssystemet.

Monitering af biocover-system

Det aktive biocover-system er blevet monitoreret i perioden oktober 2009 - juni 2010 ved hjælp af en række forskellige undersøgelsesmetoder. Bortset fra selve monitoringsprogrammet, er der også udført forsøg med kompostprøver udtaget fra det aktive biocover. Disse studier påviste, at metanoxiderationsprocessen har optimum omkring 30° C , hvilket er i god overensstemmelse med tidligere studier på området (Scheutz et al., 2009a). Ganske opsigtsvækkende blev det også påvist, at metanoxiderationsprocessen kan forløbe helt op til et sted imellem 60 og 70° C . Temperaturdata fra sensorer nedgravet to steder på biocoveret viste i relation hertil, at der i en del af kompostsøjlen er gode temperaturforhold for de metanotrofe bakterier. For begge lokaliteter kunne observeres stigende temperatur med dybden og en tydelig indvirkning af atmosfæretemperaturen på temperaturen i de øverste kompostlag. Det ene sted lå temperaturen i de dybe kompostlag ($40\text{-}70 \text{ cm}$) ret stabilt omkring $25\text{-}30^\circ \text{ C}$ i det meste af monitoringsperioden, mens den det andet sted lå omkring $10\text{-}15^\circ \text{ C}$. Temperaturforskellene imellem de to områder skal sandsynligvis forklares med forskelle i basalrespiration, metanoxidation og/eller opstrømning af varm rågas.

Batchforsøg med kompostprøver udtaget fra seks forskellige dybder to steder på biocoveret viste gennemsnitlige metanoxiderationsrater på henholdsvis $28 \text{ mg CH}_4 \text{ g}_{\text{tørsvægt}}^{-1} \text{ t}^{-1}$ og $12 \text{ mg CH}_4 \text{ g}_{\text{tørsvægt}}^{-1} \text{ t}^{-1}$. En sammenligning med gasprofilerne over dybden de to steder viste samtidig, at der for området med den høje gennemsnitlige metanoxiderationsrate også var registreret meget højere koncentrationer af metan. Resultatet er i god overensstemmelse med tidligere studier på et biocoverprojekt på Fakse losseplads, hvor det blev påvist, at forskelle i metanoxiderationsraterne kunne tilskrives forskelle i metanbelastningen i de enkelte områder, hvor kompostprøverne blev udtaget (Scheutz et al., 2011a). Udover forskellene fra sted til sted viste batchstudiet også, at de højeste metanoxiderationsrater lå i henholdsvis $35\text{-}45$ og $12\text{-}35 \text{ cm}$'s dybde de to steder. Dette stemmer godt overens med antagelsen om, at metanoxiderationszonen typisk befinder sig i den øverste del af kompostsøjlen, hvor der både er metan og ilt tilstede i tilstrækkeligt omfang.

Profiler, der viser gassammensætningen i forskellige dybder af biocoveret, viste både indbyrdes forskelle og variationer over tid. Ændringer fra høje CH_4/CO_2 -forhold i de dybest beliggende kompostlag til lave forhold i den øverste del af komposten indikerer, at der foregår metanoxidation i biocoveret. Ændringer i gassammensætningen over korte intervaller af kompostsøjlen indikerede, at metanoxiderationszonen både kan være placeret i den øverste del og i den nederste del af biocoveret afhængig af metanbelastningen til området. Udover tilgængeligheden af ilt og metan har årstidsvariationerne i atmosfæretemperaturen sandsynligvis også en stor indvirkning på placeringen af metanoxiderationszonen i kompostsøjlen. I de kolde vintermåneder er den således antageligt placeret længere nede i kompostlaget end i sommerhalvåret.

Gasprøver udtaget fra gasfordelingslaget under biocoveret påviste indbyrdes forskelle imellem de ni sektioner i biocoversystemet. I de fire sektioner med de højeste målte koncentrationer af metan lå de gennemsnitlige metankoncentrationer i intervallet 7 til 28 %. Modsat blev der i to andre sektioner ikke målt metan i nogen af gasprøverne. I forlængelse heraf ses også en tydelig relation imellem gassammensætningen i gasfordelingslaget og områder med metanemission på overfladen af biocoveret. Der er således næsten udelukkende registreret overfladeemissioner i de fire sektioner med de højeste koncentrationer af metan i gasfordelingslaget. Overfladeemissioner og hotspots var her hovedsageligt lokaliseret i overgangen mellem biocoveret og skrænten. Fluxkammermålinger udført i gridsystem i disse

sektioner viste desuden en forskel i emissionerne af metan og kuldioxid på tværs af biocovervinduerne. De målte emissioner var således lavest i den del af biocoveret, der ligger længst væk fra skrænten, mens der sås en tiltagende emission ud mod overgangen til skrænten. En gridmåling foretaget i en sektion med lave koncentrationer af metan i gasfordelingslaget, viste derimod ret ensartede emissioner af kuldioxid på hele overfladen og ingen emissioner af metan.

Totalemissionen fra deponiet er i monitoringsperioden målt til hhv. 9,1, 7,0 og 6,1 kg CH₄ t⁻¹, og viser således en faldende emission. Alle tre målinger er foretaget under stabile atmosfæriske trykforhold med meget begrænsede ændringer i det absolutte barometertryk. Forskellen mellem de tre målte emissioner kan derfor ikke tilskrives forskelle i atmosfæriske trykforhold. Ud fra forholdet imellem de beregnede gasproduktioner for etape 0 og etape 1 vurderes den gennemsnitlige metanemission fra etape 0 at udgøre 1,2 kg t⁻¹.

Barometertrykket viste sig både at have indflydelse på gassammensætningen i gasfordelingslaget og på emissionsmønstret på overfladen af biocoveret. Sammenligning af overfladescreeninger, udført under henholdsvis faldende og stabilt/stigende barometertryk, viste således højere metanemissioner fra større arealer under faldende trykforhold, samtidig med at gassammensætningen i gasfordelingslaget under biocoveret viste relativt højere indhold af metan.

På baggrund heraf er det overvejende sandsynligt, at fluktuationer i barometertrykket udøver en vis indflydelse på effektiviteten af biocoveret.

Økonomi og CO₂-reduktionspriser

De samlede omkostninger til etableringen af biocoveret på Klintholm deponi, etape 0 beløber sig til 3.119.839/2.379.839 DKK inc./excl. udgifter til det opfølgende monitoringsarbejde. Biocoveret forventes i den 30-årige efterbehandlingsperiode at medføre en reduktion i metanemissionen fra etape 0 svarende til 23.324 tons CO₂-eq. Sammenholdes den opnåede reduktion med omkostningerne til etablering af biocover og monitoring, kan "skyggeprisen" for CO₂-reduktion, over de 30 år hvor der forventes en registrerbar metanemission, estimeres til 134 og 102 DKK per ton reduceret CO₂-ækvivalent inc./excl. udgifter til det opfølgende monitoringsarbejde.

Sammenfattende kan det konkluderes, at det etablerede biocoversystem virker efter hensigten. Projektets hovedformål - en reduktion på 90 % i metanemissionen fra etape 0 er tæt på at være opfyldt, idet at den opnåede reduktion vurderes at ligge et sted imellem 79 og 93 %. Det vurderes endvidere, at effektiviteten af biocoveret i et vist omfang er influeret af fluktuationer i atmosfæretrykket, således at emissionerne generelt er størst under faldende trykforhold. På basis af målinger foretaget på overfladen af biocoveret, antages det desuden, at hovedparten af den tilbageværende metanemission stammer fra mere eller mindre sammenhængende områder i overgangen imellem biocoveret og skrænten. Den bagvedliggende årsag er sandsynligvis, at rågassen ikke fordeles helt jævnt ud under biocoveret. Eksempelvis kan det tænkes, at rågas opsamlet via drænrenderne i skrænterne primært strømmer igennem området af biocoveret tættest på skrænten. Det er også muligt, at en del af den rågas, der tidligere blev emitteret fra skrænterne, ikke opsamles af drænrenderne, men nu tvinges op til overgangen imellem skrænten og biocoveret af den nye afdækning på skrænterne. Begge dele kan føre til overbelastninger af biocoveret i dette område og dermed være skyld i de observerede emissioner af metan på overfladen. Udfordringen ved en yderligere optimering af biocoversystemet består derfor sandsynligvis i at kunne kontrollere og fordele rågassen mere jævnt ud under biocoveret. Herudover bør der også fokuseres på at forbedre modelberegningerne af gasproduktionen i affaldet, ligesom der bør arbejdes på at optimere metoden til at måle den totale metanemission, således at bidrag fra tætliggende områder kan adskilles og kvantificeres mere præcist.

Summary and conclusions

The biocover established at cell 0 at Klintholm landfill has been a success. The total emission of methane has been reduced from approximately 7.6-9.1 kg h⁻¹ to 0.6-1.9 kg h⁻¹. This equals a reduction of 79 to 93 %. Furthermore the comprehensive programme set up to monitor the biocoversystem made it possibly for the first time in history to document that a low-tech biocoversystem can be applied on a landfill and reduce emissions of methane gas. The main results of the project are described below.

Early investigations

Before implementation of the biocover system a series of field investigations were performed to determine the gas production and emission at the landfill. Based on information on the composition and amount of the disposed waste the production of gas was estimated for cell 0 and cell 1. The result of this calculation as well as the result of a more precise calculation performed by the use of the best choice modeling tool while finalizing this report showed a significant gasproduction in cell 0.

A baseline study was also conducted to evaluate the existing emissions of methane from cell 0. Surface screenings showed that methane mainly was emitted through hotspots situated at the slopes probably as a result of layering during land filling of the waste. Measurements in these areas performed by the use of static flux chambers revealed large variations in the emissions over short distances. Average emissions varied between 1 and 586 g CH₄ m⁻² d⁻¹ and 28 and 907 g CO₂ m⁻² d⁻¹. Based on these findings a total emission of 55.5 kg CH₄ d⁻¹ was calculated. In addition an emission of 5.1 kg CH₄ d⁻¹ was found to occur from two wells earlier installed during a failed attempt to extract gas from cell 0.

By the use of a method called the dynamic plume method (Galle et al., 2001; Scheutz et al., 2011b) more accurate figures for the total emission of methane from cell 0 were obtained. Two measurements were conducted during April and August 2008 showing an average methane emission of 8.3 kg h⁻¹. Unfortunately the separation of the plumes from cell 0 and cell 1 were made difficult by the short distance between the cells. As a result it was decided to use the ratio of the gasproduction in the two cells as a way of dividing the measured total emission in contributions from each cell.

Along with the baseline study a series of laboratory investigations were performed with the purpose of selecting the best materials for construction of the biocoverwindows. Different types of compost and mixtures of compost were tested in batch- and column experiments and based on the results a mixture of garden-park and kitchen compost in the ratio 7/2 was selected. Column experiments showed a methaneoxidationrate for the mixture of 96 g m⁻² d⁻¹ at steady state conditions. This is comparable to results of earlier investigations at Fakse Landfill showing rates in the level of 45 to 120 g m⁻² d⁻¹ during steady state conditions (Pedersen et al., 2010a).

Construction of the Biocover

Construction of the biocover took place between April and September 2009. Based on findings in the early investigations it was decided to dig trenches on the slopes from the base to the top with the purpose of collecting the gas emitted from the slope-area and supplying it to the biocover windows, which were to be constructed on the top of cell 0. The 10 m wide biocover windows covered a total area of 4,800 m² and were constructed by putting 0.7 m of the selected compost mixture on top of a 0.3 m thick layer of crushed concrete.

Monitoring the Biocover

With the purpose of being able to evaluate the function and efficiency of the biocover a lot of investigations were conducted between October 2009 and June 2010. In addition laboratory experiments were performed. Samples of the compost were taken from the active biocover and tested for batch experiments. Laboratory experiments showed that the optimal temperature for methane oxidation in the biocover was approximately 30° C. This result is in line with results from prior investigations performed by other researchers (Scheutz et al., 2009a). More news breaking is the finding of an upper limit of methane oxidation at as high temperatures as somewhere between 60-70° C.

The lab investigations also showed spatial variations in the rates of methane oxidation at different places of the biocover. Average rates for samples taken from different depths of the biocover at two locations were in the level of 28 mg CH₄ g_{dw}⁻¹ h⁻¹ and 12 mg CH₄ g_{dw}⁻¹ h⁻¹ respectively. The composition of gasses as function of depths at the two locations revealed higher levels of methane at the location with the highest rates of methane oxidation. This result is in compliance with earlier investigations at Fakse Landfill, showing a direct link between the methane oxidation rate and the load of methane to the part of the biocover from which the sample was taken (Scheutz et al., 2011a; Pedersen et al., 2011a; 2011b). Furthermore, the highest rates of methane oxidation were found for the samples taken out from a depth of 35-45 cm and 12-35 cm for the two locations respectively. These findings are in line with the assumption of a typical location of the methane oxidation zone in the upper part of the biocover. Profiles showing the composition of gasses as a function of depths in the biocover were found to be different from one another as well as showing variations over time. Changes in the CH₄/CO₂-ratio from higher values in the deepest parts of the biocover to lower values in the upper parts were indications of ongoing methane oxidation in the biocover. Furthermore, changes in the ratio over short spans of the depths indicated that the methane oxidation zone can be found in the upper part of the biocover as well as in the lower part.

Gas samples taken from the gravel layer in the nine sections of the biocover system showed big differences in the gas composition. In the four sections with the highest levels of methane registered the average measured concentrations were in the level of 7 to 28 %. Opposite to this, methane was not detected in any of the gas samples taken from two other sections. Comparing gas composition in the gravel layer with surface screenings further revealed an almost perfect correlation almost exclusively showing surface emissions in the four sections with the highest levels of methane in the gravel layer. Surface emission measurements performed in two of these sections by the use of flux chambers and measuring in a grid system furthermore revealed uneven emissions of methane and carbon dioxide across the area of the biocover windows. The recorded emissions were low in the inner parts of the biocover gradually rising as the flux chamber were placed at grid points closer to the border between the biocover and the slope. In contradiction to this a third grid-measurement performed in a section with low levels of methane in the underlying gravel layer showed even fluxes of carbon dioxide and no emissions of methane from the surface. These findings could lead to the assumption that the landfill gas in sections with high loads is not evenly distributed by the gravel layer. It seems as if the area of the biocover closest to the slope receives a higher volume of landfill gas compared to the inner parts of the biocover.

Three measurements of the total emission of methane from cell 0 and cell 1 were performed from April to June 2010 showing emissions of 9.1, 7.0 and 6.1 kg h⁻¹ respectively. All three measurements were conducted during stable atmospheric conditions. Accordingly rising or falling atmospheric pressure can't be the explanation of the observed decreasing trend in the emission. Again the separation of the plumes from cell 0 and cell 1 showed to be difficult and the ratio between the gas production in the two cells was used to calculate the contribution from each cell instead. This resulted in a calculated average emission of methane from cell 0 of 1.2 kg h⁻¹.

Changes in atmospheric pressure were found to have an impact on both the gas composition in the gravel layer below the biocover and on the emissions of methane from the surface of the biocover. By comparing screenings of the surface performed during conditions of declining and stable/rising atmospheric pressure it was obvious that a declining atmospheric pressure led to increased emissions of methane from the surface of the biocover. Also the total area emitting methane increased during conditions of

declining atmospheric pressure. The composition of gases in the gravel layer was affected by showing higher levels of methane during declining atmospheric pressure. Based on this it seems reasonable to conclude that fluctuations in atmospheric pressure to some extent have an influence on the efficiency of the biocover.

Total costs and Estimated CO₂-reduction costs

The costs for the construction of the biocover at Klintholm landfill totals 2.379.839 DDK (and 3.119.839 DDK when adding the estimated costs for monitoring the biocover in its expected lifetime of 30 years). CO₂-reduction costs can be calculated by comparing total costs and the reduction of the total emission of methane resulting from the construction of the biocover. Based on the measurements performed by use of the dynamic plume method the total reduction in the emission of methane from cell 0 can be calculated to an amount equalling the radiative forcing of approximately 23.324 tonnes of CO₂. Comparing the costs and the reductions obtained the CO₂-reduction costs can be calculated to be 134/102 DDK per tonne of CO₂-eq reduced (with/without costs for monitoring the biocover in its lifetime included).

Summarizing it can be concluded that the biocoverproject has been succesfull. The main goal of the project - a 90 % reduction in the emission of methane was almost reached with a calculated efficiency of the biocover in the level of 79-93 %. The majority of the remaining emissions were found to originate from areas located in the border area between the biocover and the slope. The reason for this is probably an uneven distribution of gas by the gravel layer. It's possibly that the gas collected by the trenches in the slopes to a large extent is supplied to the part of the biocover closest to the slopes instead of being evenly distributed to the entire area of the biocover. In addition to this the remaining part of the gas from the slopearea (which is not collected by the trenches) is probably also forced upwards to the borderarea between the top of the slope and the biocover by the impermeable claycover on the slopes. This could mean that in this area of the biocover the capacity for methane oxidation is exceeded, which in turn gives rise to the emissions of methane registered on the surface.

With the aim to improve the efficiency of the next generation of biocover systems an optimisation of the collection and distribution of the gas is necessary. Furthermore, large discrepancies is seen when comparing the results obtained by computer modeling of the gasproduction and field measurements in this project. Accordingly a more accurate estimation of the gasproduction in the waste is needed. Besides this further improvement of the dynamic plume method also seems necessary if it's to be used at sites containing multiple sources emitting methane situated close to each other.

1 Indledning

1.1 Generel introduktion

I deponier indeholdende organisk affald vil der dannes iltfrie (anaerobe) forhold, hvorunder det organiske affald omdannes til biogas indeholdende store mængder metan (typisk 40-60 % vol./vol.). Emissionen af metan fra jordens lossepladser udgør en væsentlig kilde til drivhuseffekten. Metan er en cirka 25 gange kraftigere drivhusgas end kuldioxid (CO_2). Opgørelser estimerer lossepladsers metanemission til at udgøre 30-70 millioner tons, hvilket svarer til 5-10 % af den samlede globale metanemission (Scheutz et al., 2009a).

En benyttet teknologi til reduktion af gasemissionen til omgivelserne er at indvinde gassen og udnytte den som energi. Dette er en oplagt løsning i højt udviklede, tæt befolkede lande, mens der i andre tilfælde kan være flere barrierer imod denne løsning:

- Kræver væsentlige investeringer til gasboringer, gasmotorer mm.
- Anlægget kræver avanceret pasning og vedligeholdelse fra veluddannet personale
- Kræver at der er aftagere af energien i form af varme og eventuelt el
- Gasopsamlingen vil meget sjældent fjerne gasemissionen helt

Et lavteknologisk alternativ til den ovennævnte emissionsbegrænsende gasopsamling er at udnytte naturlige biologiske processer i jordlag, som etableres ovenpå lossepladsen. Ved at opbygge jordlagene som et biofilter, kan man opnå at den dannede metangas oxideres, og andre organiske sporstoffer nedbrydes under de forskellige miljøforhold, som vil opstå. Denne løsning vil kræve væsentlig mindre investeringer og en mere simpel vedligeholdelse i forhold til en gasindvinding (Scheutz et al., 2009a). Omkostningerne forventes at være betydelig lavere end andre emissionsreducerende teknologier og forventes at ligge omkring 30-40 kr. per tons CO_2 -ækvivalenter (Miljøstyrelsen, 2007).

Den lavteknologiske biocover-metode har også vide perspektiver i udlandet, idet fast affald, herunder organisk affald i langt de fleste lande på jorden, bliver deponeret på lossepladser uden en egentlig forbehandling af affaldet. Mange lande, som traditionelt ikke har været betragtet som i-lande, er desuden under kraftig økonomisk vækst, hvor der genereres stadig større affaldsmængder med deraf følgende behov for flere og større lossepladser.

Afdækningslaget på en losseplads gennemstrømmes nedefra af den dannede lossepladsgas, mens der fra oven vil diffundere atmosfærisk luft ned i dæklaget. I zonen, hvor lossepladsgassens metan og luftens ilt blandes, vil metanoxiderende bakterier omsætte metanen til biogent kuldioxid, som emitteres til atmosfæren. Som nævnt indledningsvis, sker der herved en væsentlig reduktion i lossepladsgassens drivhuseffekt.

I de seneste år er der forsket en del i metanoxiderationsprocessen ved at gennemføre laboratorieforsøg. Forsøgene har vist, at der kan opnås væsentlige metanoxiderationsrater både i jord- og kompostmaterialer, som udlægges på overfladen af lossepladser (Scheutz et al., 2009a; 2009b). Metoden har også været benyttet på et antal lossepladser i større skala, bl.a. i Østrig (Humer og Lechner, 1999) og USA (Stern et al., 2007). I de nævnte projekter har der dog ikke været arbejdet med en procedure til at kvantificere størrelsen af reduktionen i metanemission, der er opnået, idet en sådan procedure kræver brug af avancerede metoder til måling af den totale emission af metan fra lossepladsen før og efter at et biocoversystem er etableret på lossepladsens overflade (Galle et al., 2001).

Etape 0 på Klintholm Losseplads er en ældre etape som indeholder organisk affald herunder spildevandsslam. Forsøg på at installere gasopsamlingsboringer for at opsamle gassen med henblik på at udnytte gassens energiindhold har vist sig ugennemførlig. Dette skyldes tilstedeværelse af lavpermeable slamlag, som umuliggør opsamling af gassen via installerede gasboringer. Efterfølgende har der således ikke været nogen løsning til håndtering af den deponigas, som dannes på etape 0. De godkendende myndigheder (Miljøcenter Odense) har godkendt, at man etablerer en biocoverløsning for at håndtere den dannede deponigas. Etape 0 har ikke et perkolatopsamlingsystem.

1.2 Biocoverprojekt på Klintholm

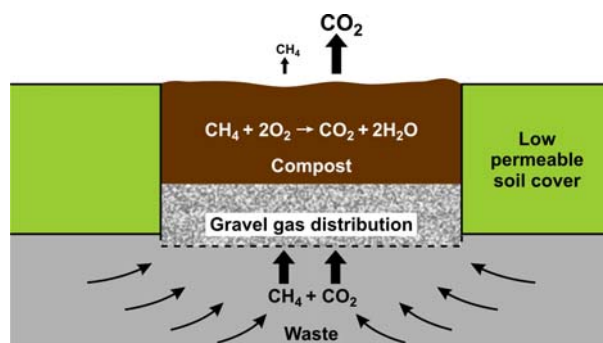
Efter ansøgning fra Klintholm I/S har Miljøstyrelsen ved skrivelse af 14. december 2007 givet tilsagn om økonomisk støtte til gennemførelse af et biocoverprojekt med slutfædækning og efterbehandling under Virksomhedsordningen. Projektet er gennemført som et samarbejdsprojekt mellem Klintholm I/S, Institut for Vand og Miljøteknologi på Danmarks Tekniske Universitet og Rambøll Danmark A/S.

Projektets mål er:

- at opfylde tilsynsmyndighedens vilkår for afdækning og efterbehandling af etape 0,
- at reducere metanemissionen fra etape 0 på Klintholm Losseplads med en faktor 10 i forhold til den nuværende emission og
- at udbygge de tekniske og CO₂-reduktionsøkonomiske erfaringer med lavteknologisk biocoverteknologi til brug på andre deponier i ind- og udland

Den planlagte biocoverløsning tager udgangspunkt i den allerede skitserede slutfædækning, hvor der etableres en simpel slutfædækning med brug af lerholdig jord. Erfaringsmæssigt vil en sådan slutfædækning have en meget lav gaspermeabilitet med en deraf følgende lav gasemission gennem slutfædækningen.

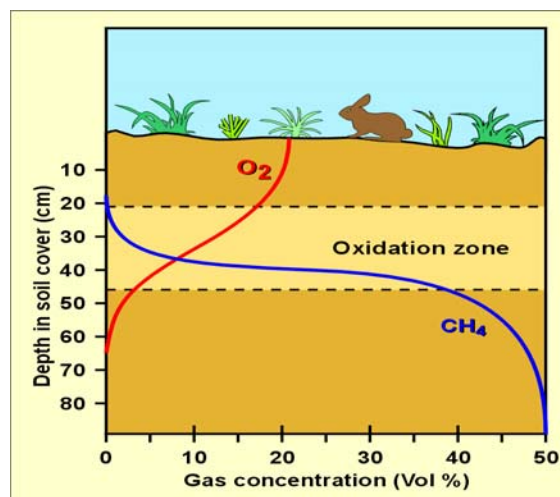
Der etableres slutfædækning på skrænterne af etapens overflade. Her udgraves også render fra fod til top med punktvis kontakt til affaldet. I renderne placeres dræn til gasopsamling og bortledning af opsamlet overfladevand fra biovinduerne, der anlægges på toppen af etapen. Under biovinduerne er udgravet en langsgående rende med fuld kontakt til affaldet. Drærenderne fra skrænterne er ført op under biovinduerne og ind i denne rende. Biovinduerne er ca. 10 meter brede og består af et ca. 0,3 m tykt lag af højpermeable materialer (inerte uorganiske materialer - betonskærver el. lign.) overdækket af ca. 0,7 m lokalt produceret kompost.



Figur 1.1. Principskitse for opbygning af biocover vindue i affaldsdeponi.

De inerte materialer sikrer en god fordeling af den dannede deponigas over hele biovindues areal, hvorved der opnås en jævn belastning af det overliggende kompostfilter.

Den valgte kombination af lavpermeabel slutfædækning og højpermeable, reaktive områder muliggør at dannet deponigas kun kan undslippe affaldsvolumenet gennem de etablerede biovinduer. I biovinduerne kan naturlige metanoxiderende bakterier omdanne gassens indhold af metan til kuldioxid, som er af biogen oprindelse og dermed drivhusgas-neutral. Udledning af metangasser er en væsentlig kilde til drivhuseffekten, fordi metan er 25 gange så kraftig som kuldioxid.



Figur 1.2. Metanoxiderationszone i afdækningsjord på affaldsdeponi.

1.3 Projektaktiviteter

Projektet er inddelt i 7 hovedaktiviteter:

1. Indledende undersøgelse af deponietape 0 og estimering af gasdannelse
2. Vurdering af eksisterende metanemission ("baseline study")
3. Test af materialer og opbygning af bioinduer
4. Etablering af biocover-system
5. Monitoring af biocover-system
6. Økonomi og CO₂-reduktionspriser
7. Rapportering og løbende formidling

Udover de beskrevne aktiviteter indeholder projektet også en projektstyrings og - koordinationsaktivitet med sideløbende projekt for etablering af slutafdækning og afvanding af overfladevand.

1.4 Rapportens indhold og opbygning

Denne rapport beskriver undersøgelser, resultater og erfaringer for de gennemførte projektaktiviteter.

1.4.1 Kort beskrivelse af deponi på Klintholm

Indledningsvis er der foretaget en kort beskrivelse af deponiet på Klintholm med fokus på slutafdækning og efterbehandling af etape 0. Dette er beskrevet i afsnit 2.

1.4.2 Indledende undersøgelse og estimering af gasdannelse

Der er udført en gennemgang af eksisterende information om etape 0 (affaldssammensætning og -alder, volumen og areal, gasdannelse mm.). På basis af indsamlet information er gennemført en beregning af den samlede, forventede gasproduktion på etape 0 ved brug af en gasproduktionsmodel. Dette er beskrevet i afsnit 3. I forbindelse med afslutningen af projektet er der desuden udført en ny og mere præcis modelberegning af gasproduktionen i de to etaper. Dette er beskrevet i bilag I

1.4.3 Vurdering af eksisterende metanemission ("baseline study")

Der er gennemført en screening af gasemissionsmønstret fra etapen. Screeningen er gennemført ved brug af feltudstyr, som kontinuert kan bestemme metan og kuldioxidkoncentrationer lige over jordoverfladen. Områder med forhøjede metankoncentrationer er markeret, arealet målt op, og der er udført fluxkammermålinger til kvantitativ bestemmelse af overfladeemissionen.

Der er gennemført en bestemmelse af gasemissionen fra tidligere gasindvindingsboringer i etape 0 ved hjælp af en sporstofmetode. Endvidere er der gennemført en totalmåling af metanemissionen fra etape 0 og etape 1 baseret på nedvindsmålinger af metanfanen fra deponiet. Denne aktivitet er udført i samarbejde med en ekstern konsulent (Jerker Samuelsson fra Chalmers Tekniske Universitet/FluxSense AB i Göteborg, Sverige).

Med formålet at undersøge horisontal gastransport fra etape 0 er der sat gasprober i kanten af deponiet og målt gassammensætningen i hhv. 1 og 2 meters dybde. Resultaterne af de gennemførte screeninger, målinger og beregninger af den eksisterende metanemission ("baseline study") er beskrevet i afsnit 4.

1.4.4 Test af materialer og opbygning af biovinduer

Ud fra den eksisterende produktion af kompost, som findes på Klintholm I/S, er fremstillet en mindre mængde af højpermeable modne kompostfraktioner (havekompost og biokompost), hvis metanoxideringspotentiale er testet i laboratoriet i simple batchforsøg og i mere avancerede kolonneforsøg.

Resultatet af laboratorieforsøgene er benyttet til at udvælge den bedst egnede komposttype, samt til at vurdere, hvilken metanoxideringskapacitet de færdige biovinduer kan opnå. Resultaterne fra laboratorieforsøgene er beskrevet i afsnit 5.

1.4.5 Etablering af biocover-system

På basis af det beregnede samlede areal af biovinduer og den indledende arealmæssige emissionsvurdering er antal, individuel størrelse og placering af biovinduer fastlagt. Der er udarbejdet et projekt for etableringen af det endelige biocover-system.

På Klintholm er der fremstillet gasfordelingsmateriale af knust beton ud fra modtaget bygningsaffald. Knust beton er vurderet som et velegnet materiale til gasfordelingslaget (ca. 30 cm tykt), som etableres i bunden af biovinduerne. Der er ligeledes fremstillet den mængde og kvalitet af kompost, der er beregnet at medgå ved etablering af biovinduerne.

Den endelige slutfodækning med lerholdig jord er gennemført, og der er etableret opsamlingsystemer for deponigas på skråningerne, som er forbundet til biovinduerne, der er etableret på toppen af deponiet. Opsamlingsystem med tilhørende biovinduer er etableret i sektioner. Især skræntarealer er afdækket med tilstrækkelig jord, da erfaringsmæssig en væsentlig del af emissionen sker på disse. Etablering af biocoveret er beskrevet i afsnit 6.

1.4.6 Monitorering af biocoversystemets virkningsgrad

Der er udviklet en samlet plan for monitorering, som efterfølgende er udført over en periode på ca. 9 måneder. Der er etableret i alt 10 monitoringspunkter, hvor emissionen af metan og kuldioxid bestemmes med et mobilt fluxkammer. Her er også installeret 10 gasprobesæt, hvor der udtages gasprøver fra forskellige dybder af kompostlaget. Der er udtaget gasprøver fra gasfordelingslaget under biocoveret, ligesom der er udtaget prøver til bestemmelse af stabile kulstofisotoper (ikke-publicerede data). Ved en del af målekampagnerne er der også gennemført overfladescreeninger på afdækningslagene med måling af metankoncentrationer for at sikre, at der ikke forefindes "hotspots" med høj metanemission. Endelig er foretaget kontinuerte målinger af temperatur og vandindhold i biocoveret ved installation af to dataloggere. I perioden fra oktober 2009 til juni 2010 er gennemført i alt 11 målekampagner.

Udover ovenstående målinger er der gennemført en samlet vurdering af hele etapens metanemission efter at biocoversystemet er aktivt ved hjælp af sporstofmetode (Galle et al., 2001). Der er gennemført i alt 3 kampagner over foråret 2010. Kampagnerne er udført i samarbejde med en ekstern konsulent (Jerker Samuelsson fra Chalmers Tekniske Universitet i Göteborg, Sverige).

Resultaterne af monitoringerne efter etablering af biocoversystemet fremgår af afsnit 7.

1.4.7 Økonomisk vurdering herunder CO₂-reduktionsenhedspriser

Der er udarbejdet en oversigt over de samlede udgifter til planlægning, forberedende målinger, etablering af biocover og monitoringer for projektet.

Den årlige reduktion i metanemission opnået ved af etableringen af biocover-systemet estimeres ud fra differensen i de målte metanemissioner i baseline studie samt totalmålinger efter etableringen, idet der tages hensyn til de sæsonmæssige påvirkninger, som der er opnået kendskab til via måling i de etablerede monitoringspunkter. Ud fra dette beregnes den opnåede gevinst i form af reduceret emission i CO₂-ækvivalenter.

På grundlag af de afholdte omkostninger til etablering af biocoversystemet og de opnåede reduktioner af emissioner i CO₂-ækvivalenter er omkostningerne i forhold hertil (kr./ CO₂-ækvivalenter) beregnet. Beregningerne fremgår af afsnit 8.

1.4.8 Rapportering og formidling

Projektets resultater og erfaringer er formidlet i denne slutrapport, som er udgivet elektronisk af Miljøstyrelsen.

Der vil herudover som minimum blive udarbejdet en dansk artikel og en engelsksproget videnskabelig artikel, der summerer projektets resultater og erfaringer.

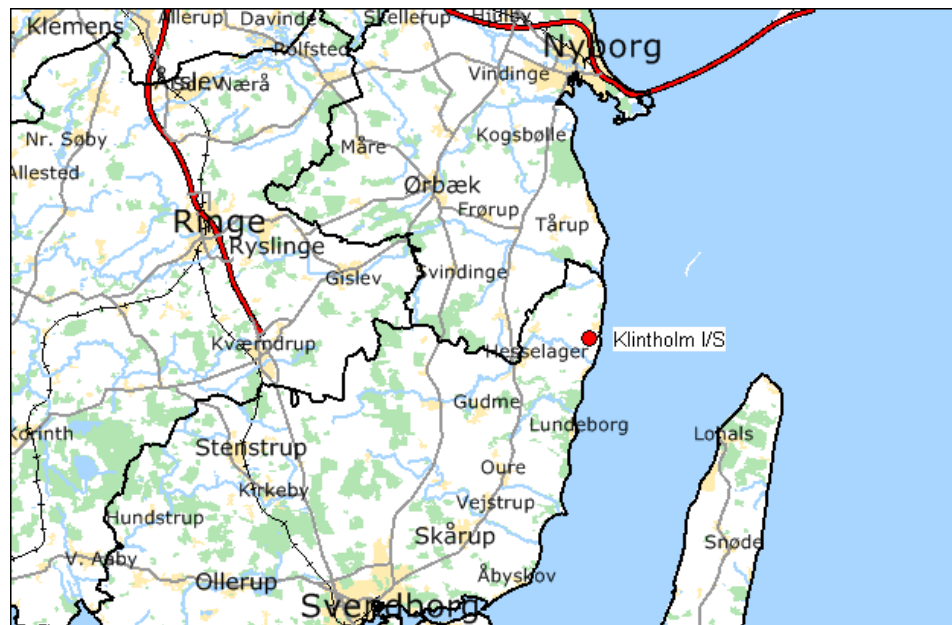
Projektet er endvidere formidlet på nationale og internationale konferencer.

Formidlingen fremgår af afsnit 9.

2 Kort beskrivelse af deponi på Klintholm

Klintholm deponeringsanlæg på Klintholmvej 50, 5874 Hesselager er etableret i 1978 på baggrund af en godkendelse fra Fyns Amt, som efterfølgende er stadfæstet af Miljøstyrelsen d. 3. april 1978. Klintholm deponiet er beliggende kystnært ud til storbælt syd for Nyborg.

Figur 2.1: Beliggenhed af anlæg hos Klintholm I/S, Klintholmvej 50, 5874 Hesselager



Den første etape - etape 0 - blev etableret uden bundmembran, idet det blev vurderet at være miljømæssigt forsvarligt. Der blev deponeret affald, herunder organisk affald og spildevandsslam, på etappen indtil 1997, hvor den blev midlertidig afdækket med bl.a. termisk rensset jord.

Deponering af affald hos Klintholm har været reguleret af en miljøgodkendelse fra 1978, da der er tale om et deponeringsanlæg for affald, som modtog mere end 10 tons affald pr. dag, og som havde en samlet kapacitet på mere end 25.000 tons. Denne miljøgodkendelse er senere erstattet af en godkendelse fra 1992, der også dækker de nye etaper. Fyns Amt var miljømyndighed for anlægget indtil udgangen af 2006. Fra 1. januar 2007 har Miljøministeriet, Miljøcenter Odense, været tilsynsmyndighed og Svendborg Kommune godkendelsesmyndighed.

Tilsynsmyndigheden, Miljøcenter Odense, har den 11. oktober 2007 varslet påbud efter miljøbeskyttelsesloven om slutfædning og efterbehandling af etape 0. Påbuddet omfatter vilkår for afdækning og efterbehandling. Slutfædningen kan etableres som en simpel slutfædning - afdækning med min. 1 m lavpermeabel jord - og system for overfladeafvanding. Efterbehandlingen omfatter bl.a. vilkår om håndtering af overfladevand og deponigas.

3 Indledende undersøgelser

I forbindelse med undersøgelser til biocover-etablering på Klintholm Losseplads er der i det følgende beskrevet og estimeret en gasproduktion fra etape 0, 1 og 2. Formålet er at beskrive den forventede gasproduktion og at kunne adskille gasbidrag fra de enkelte etaper på Klintholm I/S' deponi.

3.1 Affaldsdeponering

Etape 0

Etape 0 er påbegyndt i 1980. Etapen er opdelt i to sektioner, hvor der i alt er deponeret ca. 485.000 m³ affald. Der er kun få oplysninger om affaldets sammensætning og disse er gengivet i Tabel 3.1 fra (Klintholm-deponigas, Prøvepumpningsrapport, 1998).

Etape 0	Sektion 1	Sektion 2
Brændbart affald	60 %	40 %
Slam	5 %	15 %
Ikke-brændbart affald	35 %	45 %

Tabel 3.1. Affaldssammensætning i Etape 0, (Prøvepumpningsrapport, 1998).

Efter afslutning af etape 0 er der på den nordlige del etableret et milekomposteringsanlæg på asfalteret bund.

Etape 1 og 2

Der er indhentet følgende oplysninger om art, organisk indhold og alder af affaldet i hver af etaperne 1 og 2:

Etape 1 er inddelt i 3 celler, hvor celle 1 blev etableret i 1993. Etape 2 er inddelt i 2 celler, der begge blev etableret i 1996. Etape 2 er depot for forurenede jord, (Overgangsplan, 2002), mens etape 1 er depot for blandet affald. Derfor forudsættes det, at gasproduktionen fra etape 2 er ikke-målbare, og den er derfor ikke med i estimatet i afsnit 3.2.

I 1997 blev affaldssammensætningen på etape 1 opgjort til at være sammensat af 19 % brændbart, 33 % slam og 48 % ikke brændbart. I prøvepumpningsrapporten fra 1998 blev der vurderet en gasproduktion på 150 m³/ton og en halveringstid på 15 år (Klintholm-deponigas, Prøvepumpningsrapport, 1998).

I alt er der deponeret 236.621 tons blandet affald på etape 1 til dato, (Oplysninger fra Klintholm, 2008). Affaldet fordeler sig i dag på følgende affaldsfraktioner: 25 % industri, 30 % bygge- og anlæg, 40 % genbrugsplads og 5 % slam, (Oplysninger fra Klintholm, 2008). Det har ikke været muligt geografisk at opdele affaldstyperne mere detaljeret på de enkelte deletaper.

Det betyder, at affaldssammensætningen siden 1997 har ændret sig fra, at indeholde en stor fraktion af organisk materiale til at indeholde en relativt lille fraktion af organisk indhold.

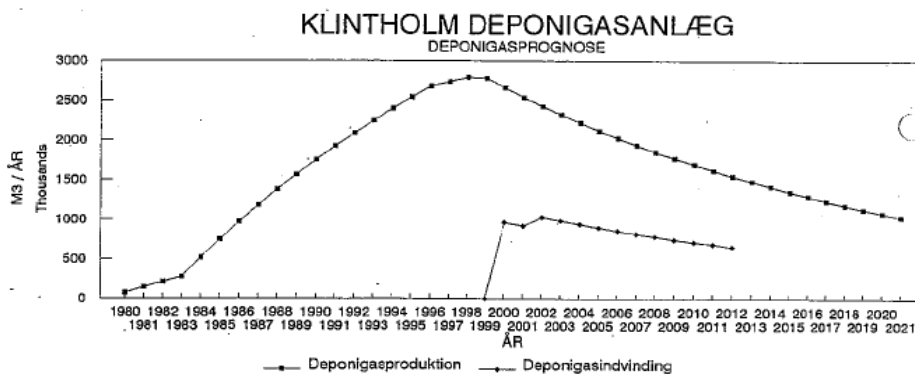
Da det ikke er oplyst fra (Oplysninger fra Klintholm, 2008), hvor meget slam og andet organisk materiale, der er deponeret på etape 1 i årene 1998 - 2007, forventes affaldssammensætningen førhen at have været som moderat omsætteligt affald, men i dag som svært omsætteligt affald. Derfor er der foretaget to beregninger. Den første beregning tager udgangspunkt i forudsætningerne om affaldssammensætning og gasproduktion fra 1998. I den anden beregning er halveringstiden antaget at være 25 år og gasproduktionen antaget at være 60 m³/ton affald (svarende til de laveste tal for gasproduktion og halveringstid anført i (Christensen, 1998)).

Det er i begge beregninger antaget, at der i 2008 deponeres 14.000 ton affald, svarende til den mængde, der er deponeret i 2007, (Oplysninger fra Klintholm, 2008).

3.2 Gasproduktion

Etape 0

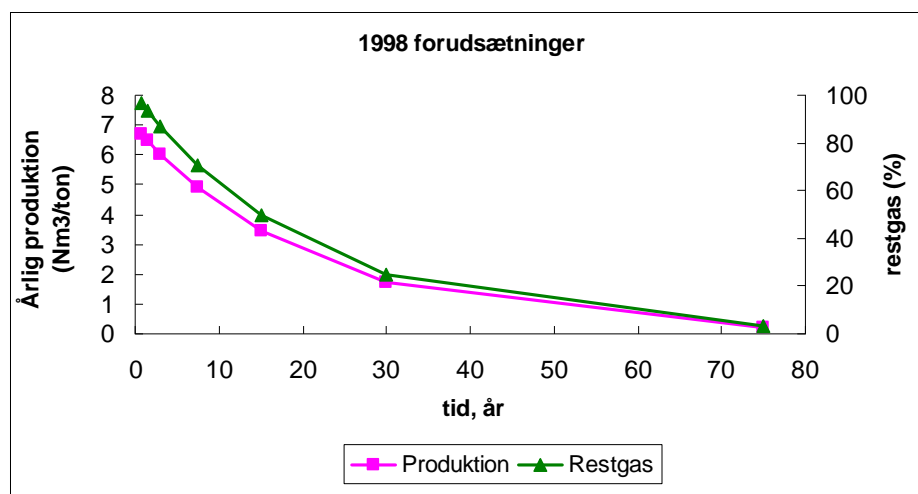
I 1998 er gasproduktionen på etape 0 estimeret, (Klintholm-deponigas, Prøvepumpningsrapport, 1998). Etape 0 er opdelt i 2 sektioner, hvor der for affaldet i sektion 1 er vurderet en halveringstid på 20 år og en gasproduktion på 180 m³ per ton. I sektion 2 er der vurderet at være en anden affaldssammensætning, hvorfor halveringstiden er sat til 15 år og gasproduktionen er estimeret til 150 m³ per ton affald. Det giver en gasproduktion som i Figur 3.1.



Figur 3.1. Estimeret gasproduktion for etape 0.

Etape 1

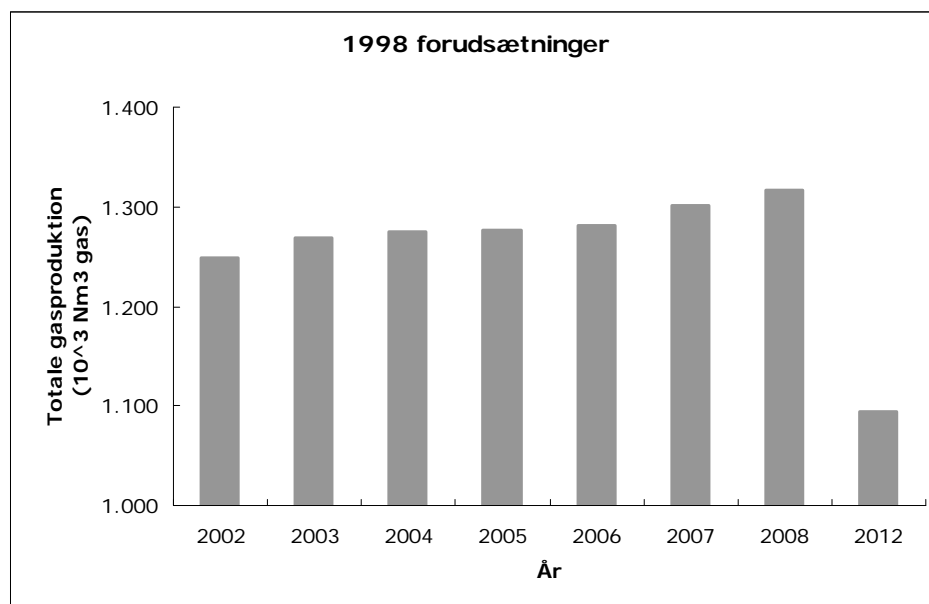
Beregning af gasproduktionen fra etape 1 er foretaget ved hjælp af Miljøstyrelsens regneark JAGG v. 1.5.



Figur 3.2. Graf over den estimerede gasproduktionen på etape 1. Gasproduktion 150 m³/t og t½ 15 år (1998 forudsætninger).

Ud fra det oplyste om affaldets art og alder, (Overgangsplan, 2002 og oplysninger fra Klintholm, 2009), er det ved beregningen antaget, at al affaldet er deponeret i 2002. Nulpunktet for kurven i Figur 3.2 svarer derfor til år 2002.

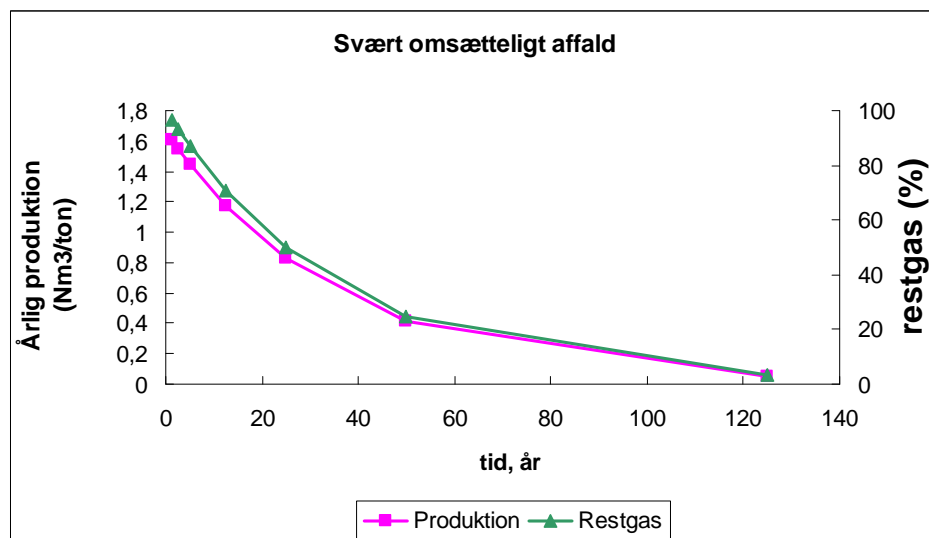
På denne baggrund er det beregnet, at gasproduktionen fra etape 1 i 2008 er på ca. 5,5 Nm³/t. Beregningsresultaterne kan findes i bilag G (se bilag 2). Det betyder, at affaldsmængden på 236.621 tons producerer 1,3 mio. Nm³ gas i 2008, jf. Figur 3.3 og bilag G.



Figur 3.3. Diagram over den estimerede totale gasproduktion fordelt på år. Det er forudsat, at der i løbet af 2008 deponeres 14.000 t blandet affald.

Forudsætninger for svært omsætteligt affald

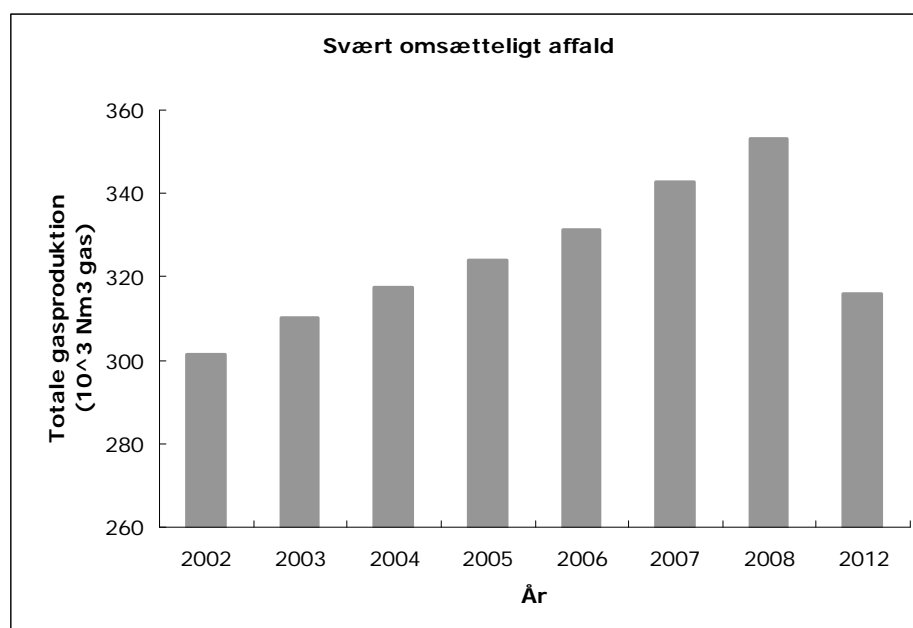
Der er i denne beregning taget højde for, at affaldets sammensætning har forandret sig fra 1998 til nu. Derfor er gasproduktionen sat til 60 m³/ton og halveringstiden til 25 år (Christensen, 1998).



Figur 3.4. Graf over den estimerede gasproduktionen på etape 1. Gasproduktion 60 m³/t og t½ 25 år.

Ud fra det oplyste om affaldets art og alder, (Overgangsplan, 2002 og oplysninger fra Klintholm, 2008), er det ved beregningen antaget, at al affaldet er deponeret i 2002. Nulpunktet for kurven i Figur 3.4 svarer derfor til år 2002.

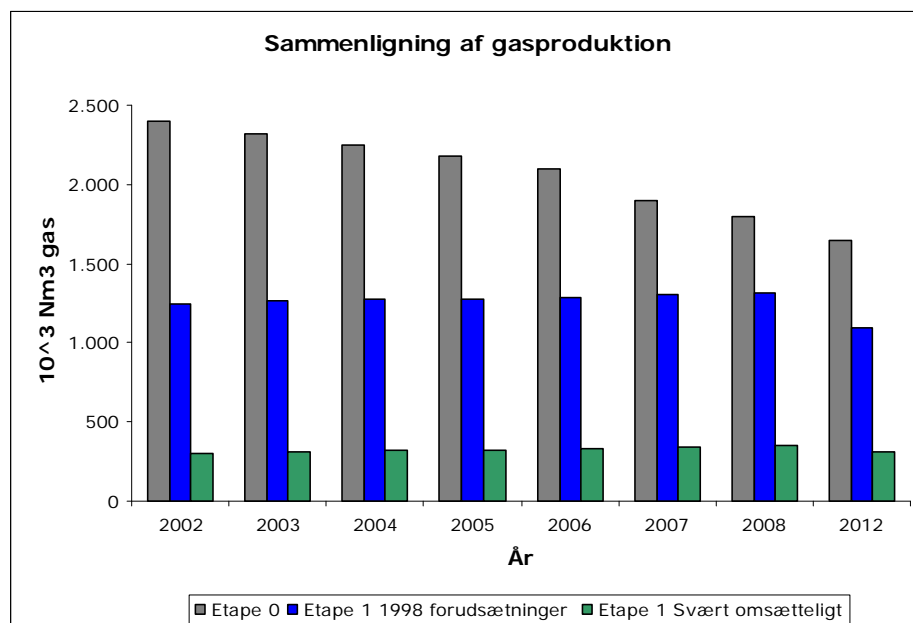
På denne baggrund er det beregnet, at gasproduktionen fra etape 1 i 2008 er på ca. 1,4 Nm³/t, jf. Figur 3.4. Beregningsresultaterne kan findes i bilag G (se bilag 2). Det betyder, at affaldsmængden på 236.621 tons producerer ca. 330.000 Nm³ gas i 2008, jf. Figur 3.5 og bilag G.



Figur 3.5. Diagram over den estimerede totale gasproduktion fordelt på år. Det er forudsat, at der i løbet af 2008 deponeres 14.000 t blandet affald.

3.3 Sammendrag af indledende undersøgelser

Sammenlignes den estimerede gasproduktion for etape 0 og etape 1 med forskellige forudsætninger, ser det ud som i Figur 3.6.



Figur 3.6. Sammenligning af estimeret gasproduktion for etape 0 og 1 med forskellige forudsætninger.

For at kunne sammenligne målt med estimeret gasproduktion er den estimerede gasproduktion i 2010 for etape 0 og etape 1 med forskellige forudsætninger vist i Tabel 3.2. Ved beregning af tallene er anvendt samme forudsætninger som ovenfor. Da deponering i etape 1 dog er fortsat i 2009 er det ved beregningen forudsat, at der i 2009 er deponeret samme type og mængde affald som i 2008.

Etape	Total gasproduktion 2010 10 ³ Nm ³
Etape 0	1.700
Etape 1 1998 forudsætninger	1.390
Etape 1 svagt omsætteligt affald	373

Tabel 3.2 Estimeret gasproduktion i 2010 for etape 0 og 1 med forskellige forudsætninger.

I forbindelse med færdiggørelsen af projektet er der desuden foretaget en beregning af gasproduktionen i de to etaper med den hollandske Afvalzorg-multi-fase-model, der er valgt som den foretrukne model til beregning af gasproduktion i forbindelse med indberetning af emissioner til PRTR-systemet for affaldsdeponeringsanlæg i DK. Resultaterne af disse beregninger fremgår af bilag I.

4 Eksisterende metanemission ("baseline study")

4.1 Metodebeskrivelser

4.1.1 Screening af overfladeemission

Med formålet at undersøge metanemissionen gennem overfladen på etape 0 blev der indledningsvis udført en screening, hvor metankoncentrationen i luften lige over jordoverfladen blev målt systematisk. En sådan undersøgelse giver et kvalitativt billede af, fra hvilke områder gassen emitteres fra deponiet.

Målingerne blev udført ved at gå hen over etappen og måle metankoncentrationen kontinuerlig. Ved udslag på metanmåleren blev området markeret, arealet af området målt op og metankoncentrationerne noteret.

Metanmålingerne blev udført med en håndholdt Photovac MicroFID analyser, der kan måle metan i koncentrationsintervallet fra 0,5 til 2500 ppmv. FID-analyseren måler metankoncentrationen hvert andet sekund. Figur 4.1 viser udførsel af metanscreeningen samt den anvendte FID-analyser.



Figur 4.1. Screening af overfladen for forhøjede metankoncentrationer på etape 0 samt den anvendte FID-analyser.

4.1.2 Kvantificering af overfladeemissionen af metan fra hotspots vha. fluxkamre

Med formålet at kvantificere metanemissionen fra overfladen på etape 0 blev der udført fluxkammermålinger på de under den indledende screening identificerede hotspots. Herefter blev den samlede overflademetanemission fra etape 0 beregnet ud fra de målte fluxe og arealet af de individuelle hotspot-områder.

Fluxmålingerne udføres ved at presse et fluxkammer (boks uden bund) ned i jordoverfladen og straks herefter måle koncentrationen af gas inde i kammeret. Hvis der er en positiv flux fra overfladen, vil koncentrationen stige over tiden, og en gasemission kan herefter beregnes. De anvendte fluxkamre er lavet af metal, formet som en cylinder med en højde på 20,5 cm og et bundareal på 755 cm². Figur 4.2 viser et billede af de anvendte fluxkamre. Metan og kuldioxid er målt med en Innova-gasanalyzer, der kan tage målinger med ned til 1 minuts mellemrum. Generelt er flux-målingerne udført over 5-7 min.



Figur 4.2. Billede af de anvendte fluxkamre samt instrument til udførelse af gasanalyser.

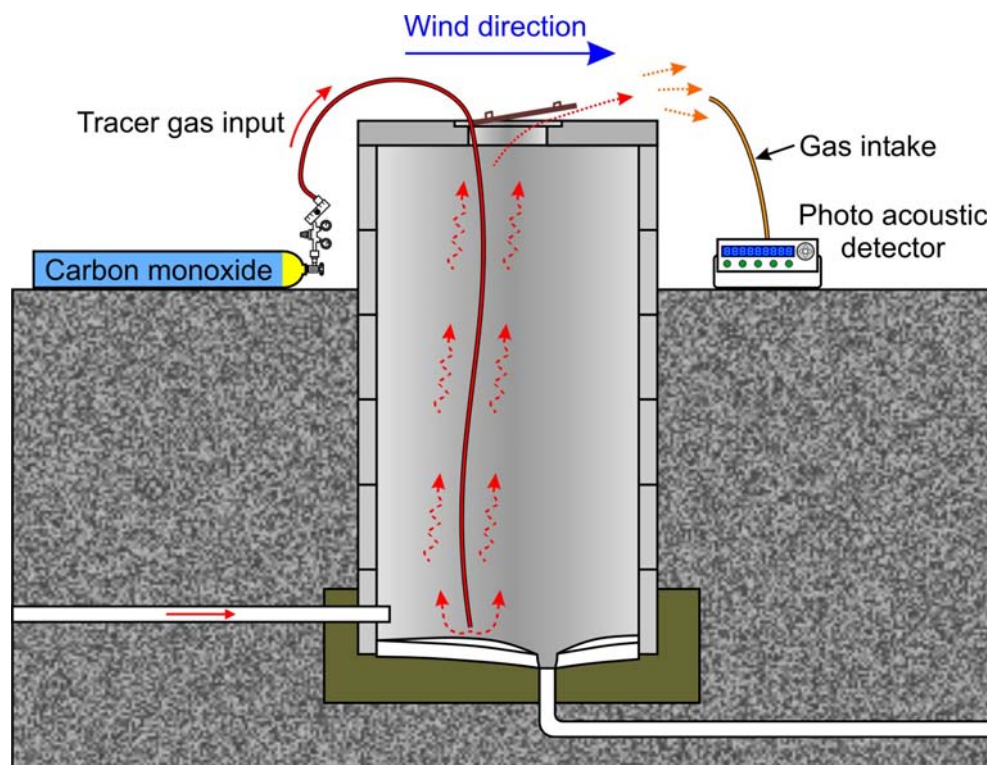
4.1.3 Kvantificering af emissionen af metan fra to tidligere gasudvindingsboringer på etape 0

Med formålet at kvantificere metanemissionen fra to åbne boringer, der tidligere er blevet etableret for at bestemme gasindvindingspotentialet fra etape 0, blev der udført sporstofforsøg i begge boringer. Den ene boring består af et vertikalt sort perforeret plastikrør, der er placeret på toppen af etape 0, mens den anden boring er en vertikal boring placeret vest fra etape 0 tæt på vejen nær kanten af komposteringsarealet og arealet for opbevaring af bygningsaffald. De to gasindvindingsboringer er i tidligere rapporter navngivet hhv. B1 og B3. Sporstofforsøget består i, at der i boringen frigives et sporstof (kulmonoxid) med kendt frigivelsesrate. Nedvinds boringen måles koncentrationen af sporstof og metan. Herefter kan emission af metan bestemmes ret præcist ud fra nedenstående to ligninger:

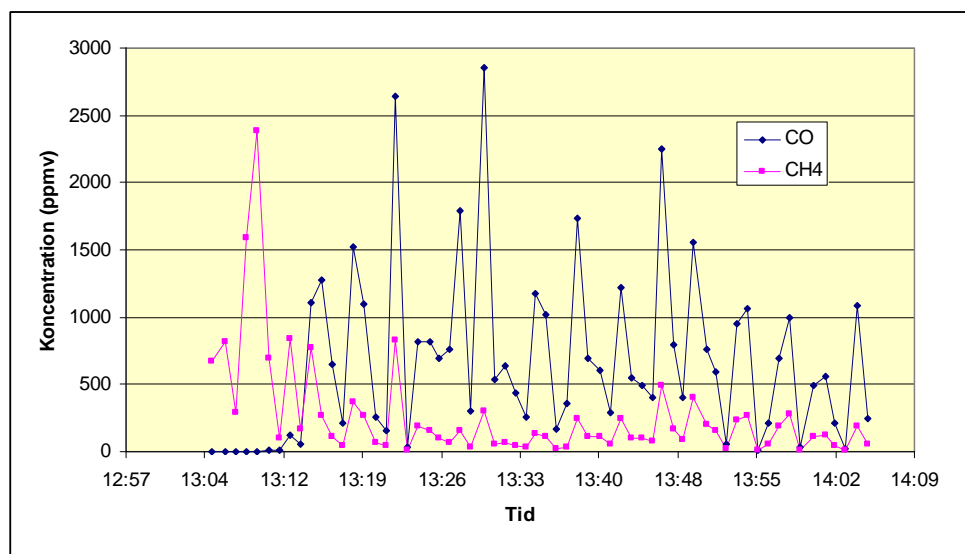
$$\frac{Q_{CH_4}}{Q_{CO}} = \frac{C_{CH_4}}{C_{CO}} \Leftrightarrow Q_{CH_4} = Q_{CO} \cdot \frac{C_{CH_4}}{C_{CO}}$$

$$Q_{CH_4} = Q_{CO} \cdot \frac{C_{CH_4,t} - C_{CH_4,background}}{C_{CO,t} - C_{CO,background}}$$

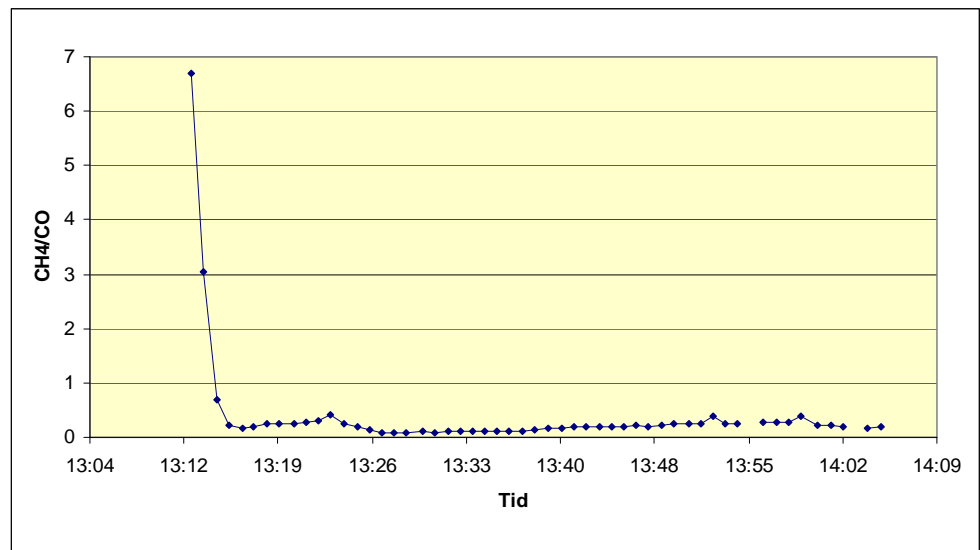
Hvor Q er massen af enten metan eller sporstof (CO) per tid, mens C er den tilsvarende målte stofkoncentration. Princippet i målingen er vist i Figur 4.3. Metoden er beskrevet i detaljer i Fredeslund et al. (2010). I Figur 4.4 er vist et eksempel på parallelle målinger af sporstof og metan nedvinds en boring. Sporstoffet er frigivet med en hastighed på 6 L CO per minut. Det ses, at der i starten kun måles metan, men efter kort tid kommer sporstoffet op gennem boringen og måles sammen med metanen. For at metoden er anvendelig, er det vigtigt, at sporstof og metan opfører sig ens, da sporstoffet i modsat fald ellers ikke simulerer metanemissionen. Af Figur 4.5 fremgår, at koncentrationen af sporstof og metan følges ad, hvilket betyder, at forholdet mellem de to stoffer er konstant, hvorved metanemissionen kan beregnes. Variationen i koncentrationerne skyldes, at vindretningen hele tiden ændres lidt. Dette har dog ingen betydning for målingen, når blot variationen i koncentrationen af de to stoffer følger hinanden.



Figur 4.3. Princippet i bestemmelse af metanemissionen fra åbne brønde eller borer på affaldsdepoter vha. en sporstofmetode. Sporstoffet, her kulmonoxid (CO), frigives i bunden af boringen, mens der foretages parallelle og kontinuerede målinger af metan og sporstof nedvinds boringen.



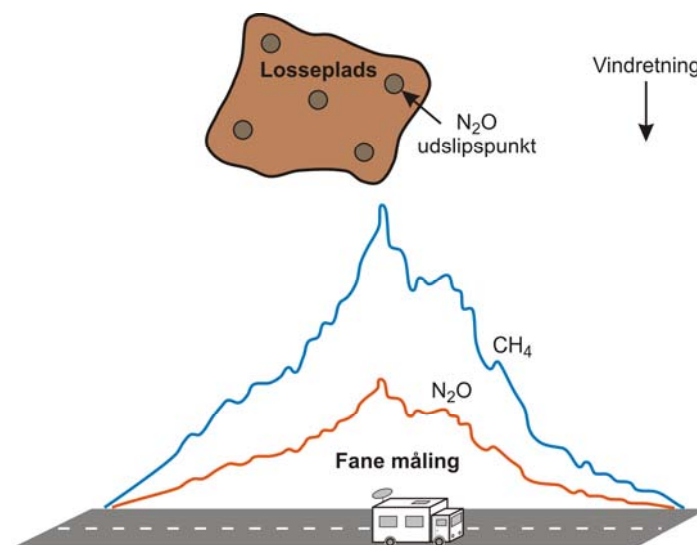
Figur 4.4 Målinger af metan og sporstof nedvinds den tidligere gasindvindingsboring B2 placeret på toppen af etape 0 under et sporstofforsøg til bestemmelse af den totale metanemission fra boringen.



Figur 4.5 Forholdet mellem metan og sporstof i nedvindsmålinger til bestemmelse af den totale metanemission fra den tidligere gasindvindingsboring B2 placeret på toppen af etape 0. Forholdet mellem metan og sporstof er beregnet på baggrund af de målte koncentrationer vist i Figur 4.4.

4.1.4 Måling af totalemission

Den totale metanemission fra hele deponiet er målt ved en metode, der kaldes den dynamiske fane metode (dynamic plume method) (Galle et al., 2001; Scheutz et al., 2011b). Metoden består i, at der ved hjælp af mobilt analyseudstyr, udføres koncentrationsmålinger på tværs af metanfanen nedvinds affaldsdeponiet. Frigives samtidig en kendt mængde sporstof fra affaldsdepotet kan metanemissionen bestemmes med høj nøjagtighed, såfremt sporstoffet simulerer metanemissionen godt. Princippet i metoden er vist i Figur 4.6. For at få en god simulering vil det ofte være nødvendigt at frigive sporstof flere steder på deponiet. Findes der flere forskellige enheder på deponiet, hvorfra emissionen ønskes at bestemmes, kan der anvendes to forskellige sporstoffer. Desuden kan man i nogle tilfælde benytte forskellige vindretninger til at separere emissionen fra forskellige enheder af deponiet. Under sporstoffrigivelsen udføres parallelle målinger af metan og sporstof på tværs af fanen. Dette kræver et analyseapparat med lav responstid (kan tage mange målinger hurtigt efter hinanden), lav detektionsgrænse og høj opløsning (måle lave koncentrationer i ppb-niveau og skelne mellem lave koncentrationer). Der findes i dag flere typer af analyseapparater på markedet, der opfylder disse krav bl.a. en Tuneable Diode Laser (TDL), Quantum Cascade Laser (QCL) eller Fourier Transform Infrared (FTIR) absorption spektroskop. Emissionen af metan kan beregnes, da frigivelsen af sporstof samt forholdet mellem sporstof og metan kendes.



Figur 4.6. Princippet i dynamisk fane målinger til bestemmelse af metanemissionen fra et affaldsdeponi. Flere steder på deponiet frigives et sporstof (her N_2O) med kendt frigivelsesrate. Samtidig foretages målingen i fanen nedvinds deponiet.

Fordelen ved denne metode er, at den totale emission kan måles uafhængig af affaldsdeponiets fysiske udformning. Endvidere kan metoden også anvendes på deponier, hvor emissionen primært er forbundet med forskellige installationer på deponiet, som fungerer som vigtige emissionsruter for gassen f.eks. perkolatopsamlingssystemer. Metoden er endvidere fordelagtig, da man under målekampagnen kan aflæse koncentrationsmålingerne direkte (real time), og derved ved, om man måler i det rigtige område og fanger hele fanen. En målekampagne tager normalt ca. 6 timer inklusiv indledende screening for metankilder på deponiet, opsætning af sporstofgasflasker, og selve målingerne under traverseringen af fanen. Metoden kræver, at der er kørbare forhold langs deponiet i en afstand af 0,5 til 2 km. Endvidere skal målingerne udføres under vejrforhold med svag vind (3-4 m/s) og konstant vindretning over måleperioden.

4.1.5 Måling af horisontal gastransport

For at undersøge om den dannede deponigas eventuelt transporteres horisontalt ud fra deponiet, blev der sat en række gasprober i kanten af deponiet, hvorfra der blev udtaget gasprøver til analyse for metan, ilt og kuldioxid. Gasproberne bestod af 2,5 m lange vandrer, der var slidset i enden således, at der kunne suges gas fra rørene. Generelt blev det forsøgt at udtage gasprøver i 1 og 2 m dybde i 6 transekter (A til F) langs kanten af deponiet. Placeringen af transekter fremgår af Figur 4.7. Der blev udtaget to baggrundsprøver ligeledes i 1 og 2 meters dybde på et markareal beliggende ca. 150 og 250 m nord for deponiet.

Gasproberne blev rammet ned ved håndkraft. Flere steder var jorden dog så hård og stenet, at rørene ikke kunne komme ned. I disse tilfælde blev det forsøgt at sætte et nyt rør eller alternativt, blev der udtaget en prøve i den dybde, det var muligt at komme ned i. Gasprøverne er udtaget ved først at renpumpe proben svarende til to gange dødvolumenet af proben, herefter er gasprøven (5 ml) udtaget med kanyler fra det lukkede prøvetagningssystem og overført til et vakueret prøveglas. Figur 4.8 viser et billede af prøvetagningssystemet på gasproberne. Gasprøverne blev herefter analyseret ved gaskromatografi (Micro GC, Chrompack), der har en detektionsgrænse på 0,2 % v/v for metan, kuldioxid og ilt.



Figur 4.7. Placering af 6 transekter (A til F) langs kanten af deponiet til undersøgelse af potentiel horisontal gastransport.



Figur 4.8. Billede af gasprøveudtagningssystem og nedramning af gasprober.

4.2 Screening af overfladeemission

Ved screening af overfladen på etape 0 før etablering af biocover blev det fundet, at gassen primært blev emitteret gennem mindre afgrænsede områder her også omtalt som hotspot-områder. Resultaterne af screeningen er vist i Tabel 4.1. Der blev fundet ca. 20 områder med forhøjede metankoncentrationer

varierende fra mellem 25 ppmv til over 2500 ppmv, som er den øvre detektionsgrænse for FID-analyseren. Størrelsen af områderne varierede mellem 1 til godt 76 m². I flere af hotspot-områderne sås ingen eller kun sparsom vegetation, hvilket indikerer en væsentlig gasemission. Planternes rødder kræver ilt til deres respiration, og områder med høj gasgennemstrømning (og lave ilt-niveauer) forringer derfor vækstbetingelserne for planterne. Enkelte steder sås også tegn på dannelse af EPS (exopolymeric substances), som produceres af metanoxiderende bakterier. Dannelse af EPS ses som en svag lyserød farve i de øverste jordlag. Tilstedeværelsen af EPS indikerer, at der kommer metan op gennem afdækningsjorden, og at der findes metanoxiderende bakterier, og at en del af metanen formentlig oxideres af de metanoxiderende bakterier i jorden. Figur 4.9 viser et billede af et hotspot, hvor der blev observeret EPS.



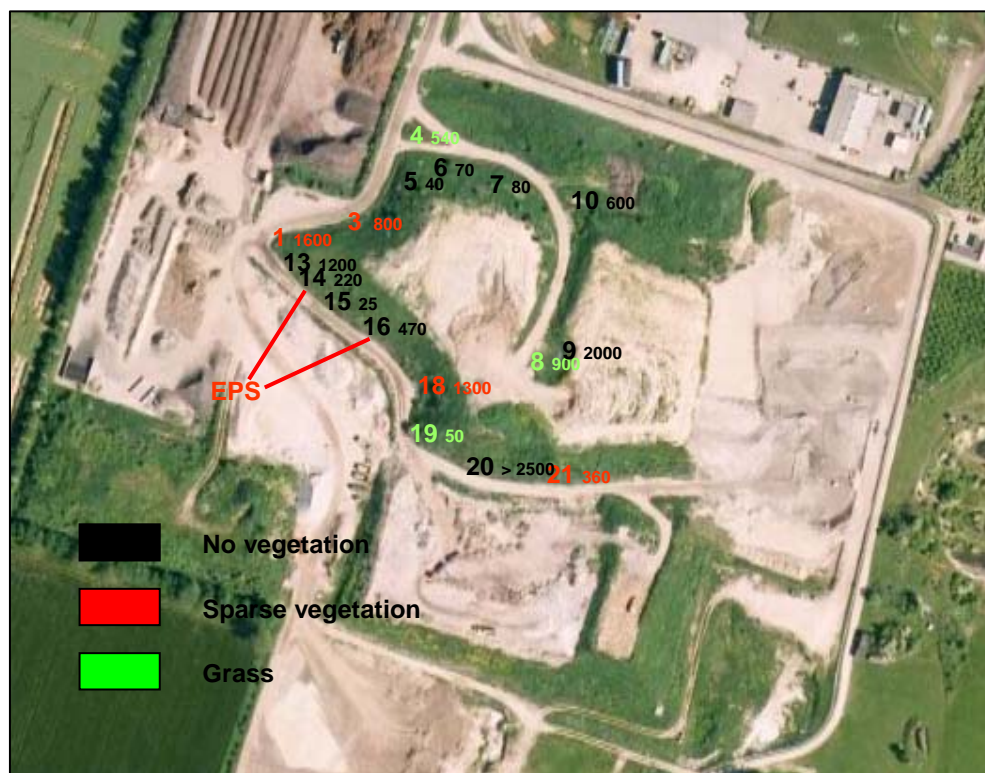
Figur 4.9. Hotspot på skrænten af etape 0 før etablering af biocover. Den manglende vegetation skyldes sandsynligvis en høj gennemstrømning af gas. Der ses også tegn på dannelse af EPS, hvilket indikerer, at der findes metanoxiderende bakterier i det øverste jordlag. Dannelse af EPS ses ved en svag lyserødfarvning af jorden.

Hotspot	Area l (m ³)	Metankoncentration (ppmv)	Bemærkning ang. vegetation og dannelse af EPS
1	14,8	1600	Nogen vegetation
2	8,8	400	Nogen vegetation
3	50,9	800	Nogen vegetation
4	34,2	540	Græs
5	1	40	Ingen vegetation
6	1	70	Ingen vegetation
7	1	80	Ingen vegetation
8	9,1	2000	Græs
9	22,1	900	Ingen vegetation
10	73,6	600	Ingen vegetation
11	43,7	200	Ingen vegetation
12	33,4	>2500	Perkolatbrønd
13	1	1200	Ingen vegetation
14	62,5	220	Ingen vegetation. Fundet EPS
15	1	25	Ingen vegetation
16	57,6	470	Ingen vegetation. Fundet EPS
17	11,4	420	Græs
18	14,8	1300	Nogen vegetation
19	8,8	50	Græs
20	50,9	>2500	Ingen vegetation
21	34,2	360	Nogen vegetation

Tabel 4.1. Hotspots fundet ved overfladescreeninger for metan på etape 0.

Figur 4.10 viser forekomsten af hotspots på etape 0 før etableringen af biocover. Det ses, at gassen primært blev emitteret gennem hotspot-områder på skrænten langs kanten af deponiet. De fleste hotspot, og dem med de højeste metankoncentrationer, blev fundet langs den sydlige og vestlige skrænt. Det er meget almindeligt, at gassen dannet i affaldsdepoter bevæger sig ud gennem siderne af deponiet, pga. af affaldets lagdelte struktur som følge af kompakteringen under deponeringen. På etape 0 på Klintholm losseplads forstærkes denne mere vertikale gastransport formentlig af, at der på toppen og nord for deponiet er deponeret op til 6 m leret lavpermeabel jord.

Med formålet at undersøge om der skete betydende metanemission i området uden for etape 0, evt. ved at gas dannet i etape 0 transporteres nede i affaldet og ud under affaldet til naboer områder uden for etappen, blev der udført metanscreeninger i områderne omkring etape 0, hvilket er vist på Figur 4.11. Der blev ikke fundet forhøjede metanemissioner i disse områder, hvormed det kan konkluderes, at gassen fra etape 0 primært blev emitteret gennem skrænterne på deponiet eller alternativt transporteret horisontalt ud under affaldet dybt under jorden.



Figur 4.10. Placeringen af hotspots (store tal) samt målte metankoncentrationer (små tal) angivet i ppmv på etape 0 før etablering af biocover.



Figur 4.11. Områder omkring etape 0, hvor der er screenet for metan.

4.3 Måling af emission fra punktkilder

Tabel 4.2 viser en oversigt over de målte metanfluxe på etape 0 før etablering af biocover. Af tabellen fremgår ligeledes arealet af de individuelle hotspotområder, antallet af fluxmålinger i hvert hotspotområde, den gennemsnitlige metanflux samt den totale metanemission fra hotspotområdet. Resultaterne viser, at der var en stor variation i gasemissionen således, at målinger taget med meget kort afstand mellem hinanden viste meget forskellig emission. Den gennemsnitlige fluxemission af metan varierede mellem 1 g CH₄ m⁻² d⁻¹ og 586 g CH₄ m⁻² d⁻¹ for de forskellige hotspot, mens emissionen af kuldioxid varierede mellem 28 g CO₂ m⁻² d⁻¹ og 907 g CO₂ m⁻² d⁻¹. Tilsvarende høje emissioner fra hotspotområder er rapporteret i Scheutz et al. 2003 og 2008.

På baggrund af de målte fluxe og arealerne af emissionsområderne er den gennemsnitlige totale emission af metan og kuldioxid beregnet fra hvert hotspotområde. Det fremgår af Tabel 4.2, at metanemissionen varierede mellem 1 og 19.500 g d⁻¹, mens kuldioxidemissionen varierede mellem 28 og 30.334 g d⁻¹. Den totale emission fra hotspotområder på etape 0 før etablering af biocover er herefter beregnet til 55,5 kg CH₄ d⁻¹ og 139 kg CO₂ d⁻¹.

I de to sidste kolonner i Tabel 4.2 er andelen af hhv. kuldioxid og metan af den totale flux beregnet på baggrund af molkoncentrationer. Det fremgår, at kuldioxid udgør størstedelen i de fleste hotspot-arealer. En højere andel af kuldioxid indikerer, at der sker en væsentlig oxidation af metan til kuldioxid i flere af områderne.

Hotspot	Areal	Antal flux-målinger per hotspot	CO ₂ -flux	CH ₄ -flux	CO ₂ -emission per hotspot	CH ₄ -emission per hotspot	Andel CO ₂ af den totale flux	Andel CH ₄ af den totale flux
	m ²		g/m ² /d	g/m ² /d	g/d	g/d	%	%
1	14,8	2	70	6	1041	87	81	19
2	8,75	4	119	3	1045	28	93	7
3	50,85	7	92	4	4657	181	90	10
4	34,2	3	217	94	7433	3218	46	54
5	1	1	78	1	78	1	98	2
6	1	2	28	1	28	1	95	5
7	1	1	273	22	273	22	82	18
8	9,1	1	37	0	339	4	97	3
9	22,11	1	337	206	7446	4556	37	63
10	73,6	3	221	130	16.245	9600	38	62
13	43,68	1	294	94	12.845	4111	53	47
14	33,44	3	907	586	30.334	19.590	36	64
15	1	2	212	7	212	7	92	8
16	61,5	4	276	60	16.950	3683	63	37
17	62,5	2	141	28	8786	1739	65	35
18	9,1	2	484	339	4403	3086	34	66
19	1	2	102	6	102	6	86	14
20	57,63	2	380	77	21.899	4412	64	36
21	11,4	1	468	101	5331	1146	63	37
Total					139.447	55.476		

Tabel 4.2. Gennemsnitlige metan- og kuldioxidfluxe målt på hotspot-områder på etape 0 på Klintholm losseplads før etablering af biocover.

Resultaterne af sporstofmålingerne viser, at der fra boringen placeret oppe på toppen af etape 0 (B2) blev emitteret 1235 g CH₄ per dag, mens der fra boringen placeret ved foden af etape 0 (B3) blev emitteret 3847 g CH₄ per dag. Samlet fra begge boringer giver dette en emission på 5086 g CH₄ per dag.

Tidligere undersøgelser på Fakse losseplads og AV-Miljø har vist, at en stor del af gassen emitteres via perkolatssystemet. Det er også påvist, at emissionen fra perkolatbrønde er meget varierende og bl.a. stærkt afhængig af ændringer i atmosfæretryk. Tidligere screeninger med FID-analyseren i de to prøveboringer på Klintholm har da også vist meget varierende metankoncentrationer. Det er derfor muligt, at emissionen herfra også varierer med ændringerne i atmosfæretrykket.

4.4 Måling af totalemission

Der er på Klintholm losseplads udført to målekampanjer (i april og i august 2008) til bestemmelse af totalemissionen før etablering af biocoveret. Begge målekampanjer blev udført under stabile vejforhold, med en vindretning fra vest således, at det var muligt at anvende jordvejen langs stranden øst for deponiet. Under sådanne vindforhold er det muligt at måle tre metanfaner fra deponiet; en fra komposteringsanlægget, en fra etape 0 og en fra etaperne 1.1, 1.2, og 1.3.

Under kampanjerne blev der anvendt to forskellige sporstoffer med formålet at kunne skelne emissionen fra etape 0 og etape 1 med emissionen fra komposteringsanlægget. Der blev frigivet sporstof i form af N₂O fra et sted på etape 0 og to steder på etape 1. Den samlede frigivelsesrate for N₂O var 7,1 kg/t for begge kampanjer. Til måling af emissionen fra komposteringsanlægget blev sporstoffet frigivet fra et sted centralt på komposteringsarealet. Ved målingen d. 2. april blev anvendt CO med en frigivelsesrate på 2,1 kg/t, mens der ved målingen d. 5. august blev anvendt N₂O med en frigivelsesrate på 2,36 kg/t. Figur 4.12 viser placeringen af gasflaskerne med sporgas på etape 0 og etape 1 under de to målekampanjer.



Figur 4.12. Placering af sporstofflasker samt indledende målinger af metankoncentrationer d. 2. april 2008. Farven på stolperne angiver metankoncentrationen i ppbv (10^{-9}) over baggrunds niveau. De små stolper der starter ved koncentrationsprikken indikerer vindretningen ved at pege op imod vinden, og derved imod potentielle metan-kilder. Længden af stolperne svarer til vindhastigheden. Farveskalaen til angivelse af metankoncentrationen er angivet i \log_{10} .

Resultaterne er vist i Tabel 4.3, hvoraf det fremgår, at totalemissionen fra hele deponiet er målt til hhv. $14,0 \pm 1,6$ kg/t den 2. april og $16,0 \pm 2,0$ kg/t den 5. august 2008.

Dato	Tid	Antal af kørsler gennem metanfanen fra deponiet	Metanemission	Vind	Barometrisk tryk og lufttemperatur
02.04.2008	14:13:33-18:36:30	15	$14,0 \pm 1,6$ kg/t	2,9 m/s 297 deg	1013 mbar 10° C
05.08.2008	18:24:24-20:39:27	12	$16,0 \pm 2,0$ kg/t	5,2 m/s 291 deg	1006 mbar 16° C
Gennemsnit		(total 27)	$15,0 \pm 1,4$ kg/t		

Tabel 4.3. Oversigt over totalmålinger udført på Klintholm losseplads i 2008.

Da etape 0 og etape 1 er beliggende meget tæt på hinanden, var det desværre ikke muligt at opnå en tilfredsstillende adskillelse af metanfanerne fra de to etaper. I stedet er fordelingen af den totale metanemission imellem de to etaper beregnet ud fra forholdet imellem etapernes modelberegnete gasproduktioner (se bilag I). De forsøgsvisse opsplitninger af metanfanen i bidrag fra de forskellige områder, samt de målte emissioner fra hver enkelt gennemkørsel, kan ses i bilag F.

Emissionen fra komposteringsarealet blev målt d. 2. april 2008, 16:00-16:30. Målingerne er udført relativt tæt på komposteringsarealet og er derfor potentielt set behæftet med en større usikkerhed pga. dårlig opblanding af sporstof. Der er dog set fin korrelation mellem metan og sporstof. Der blev udført ti gennemkørsler af fanen, og på baggrund heraf blev metanemissionen fra komposteringsarealet målt til $4,5 \pm 1,1$ kg/t, mens N_2O emissionen blev målt til $0,08 \pm 0,05$ kg/t. Ved målekampagnen d. 5. august 2008 blev emissionen fra komposteringsarealet målt til $1,7 \pm 0,3$ kg/t. Der blev foretaget seks gennemkørsler af fanen i tidsrummet 19:19-20:08.

4.5 Måling af horisontal gastransport

For at undersøge om den dannede deponigas eventuelt transporteres horisontalt ud fra deponiet, blev der sat en række gasprober i 6 transekter (A-F) i kanten af deponiet. Herfra blev der udtaget gasprøver til analyse for metan, ilt og kuldioxid. Placeringen af de 6 transekter fremgår af Figur 4.7.

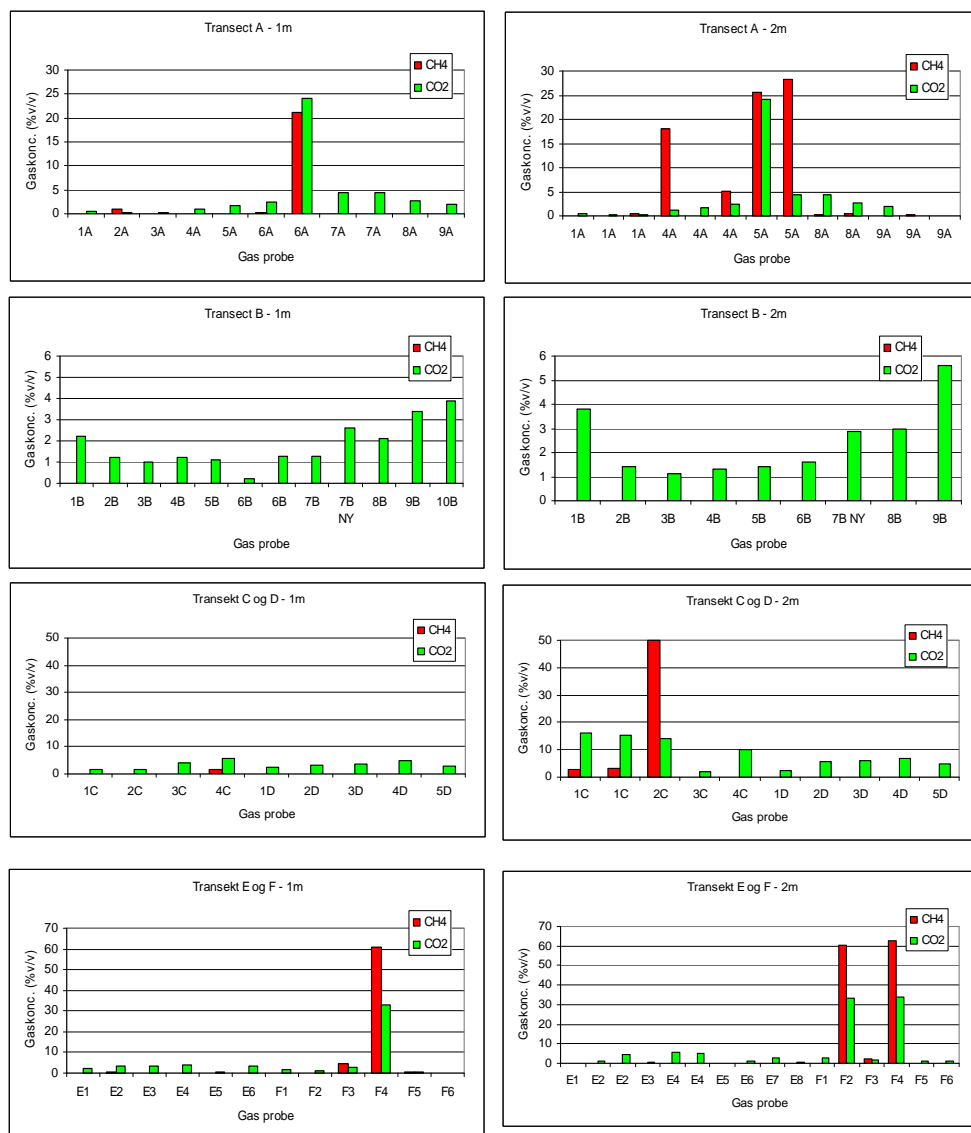
Baggrundskoncentrationerne fra målingerne af den horisontale gastransport er vist i Tabel 4.4, mens resultaterne fra gasproberne er vist i Figur 4.13. Det ses, at der i transekt A langs den nordlige kant af etape 0 er metan i flere af borerne i begge dybdeinterval dog med de højeste koncentrationer (op til 28 % metan) i 2 til 2,5 meters dybde. Det ses også, at der er forhøjede kuldioxidkoncentrationer i forhold til baggrund i næsten alle borer. I transekt B ses ikke metan, men forhøjede koncentrationer af kuldioxid op til 6 %. Det samme gør sig gældende i transekt D beliggende nordvest langs med kanten af komposteringspladsen. I transekt C beliggende syd for etape 1.2 og 1.3 ses metan i høje koncentrationer (op til 50 %) i flere af de dybe borer. Dette kunne tyde på, at der transporteres gas fra etape 0 ud under etape 1.2, 1.3 og 2.1 og op uden for deponiet. Gassen kommer formentlig ikke fra etape 1.2, 1.3 og 2.1, da disse er udstyret med bund- og sidemembran. De forhøjede kuldioxidkoncentrationer i 1m-dybdeintervallet kunne tyde på, at metanen oxideres i jordlagene. I transekt E ses kun metan i lav koncentration i en enkelt af de dybe borer, hvorimod der er målt høje metankoncentrationer i transekt F, der ligger langs kanten af etape 1.1. Metangassen kommer formentlig fra etape 1.1, selv om denne etape er udstyret med bundmembran. Placeringen af de seks transekter fremgår af Figur 4.7.

Samlet tyder resultaterne på, at der i enkelte områder langs den nordlige kant af etape 0, syd for etape 1.2 og 1.3 samt ved etape 1.1 transporteres gas horisontalt ud fra deponiet. I næsten alle borer ses forhøjede kuldioxidkoncentrationer i forhold til baggrund. Da langt de fleste borer ikke indeholder metan, kunne det tyde på, at der strømmer noget deponigas ud, men at metanen formentlig omsættes undervejs til kuldioxid, som giver anledning til de forhøjede koncentrationer. Det er selvfølgelig også muligt, at deponigas transporteres i dybere underjordiske lag og kommer op længere væk fra deponiet. I tilfældet af, at der foregår en betydende horisontal gastransport fra etape 0, er det dog ikke ensbetydende med, at det giver anledning til metanemission, såfremt metanen oxideres til kuldioxid inden den emitteres til atmosfæren.

For god ordens skyld skal det nævnes, at det er muligt, at markjorden, hvor baggrundsprøverne er udtaget, ikke er repræsentativ for de steder, hvor der er udtaget gasprøver langs deponikanten. Der kan være store forskelle på, hvor meget kuldioxid der produceres i naturlige jordmiljøer. Dette afhænger bl.a. af jordbundsforholdene, vegetationen og den biologiske aktivitet. I områder med meget bevoksning eller med stor omsætning (skov eller dyrket landbrugsmark) kan man forvente en højere baggrund af kuldioxid i jorden. Det formodes dog, at det vil være sjældent, at denne overstiger de generelle forhøjede niveauer (mellem 1 og 6 %, når der ses bort fra borer, hvor der også er set metan) målt langs kanten af deponiet.

Boring	Dybde	lt %	Nitrogen %	Metan %	Kuldioxid %
Reference 1	1 m	20,4	79,6	0,0	0,2
Reference 1	2 m	19,8	78,8	0,01	0,8
Reference 2	1 m	20,2	77,9	0,1	0,8
Reference 2	2 m	20,4	78,2	0,01	0,2

Tabel 4.4. Baggrundkoncentrationer målt i markareal i 1 og 2 meters dybde.



Figur 4.13. Koncentrationer af CO₂ og CH₄ i gasprøver udtaget fra nedrammede prober i 6 transekter (A-F) i kanten af deponiet. Figurene i venstre kolonne viser målinger fra ca. 1 m dybde mens, figurene i højre kolonne viser målinger fra ca. 2 m dybde. Bemærk at koncentrationsskalaen er forskellige for de forskellige figurer.

4.6 Metanemissionsmålinger – samlet overblik

I det følgende gives at samlet overblik over resultaterne af de forskellige metanemissionsmålinger udført som en del af "Baseline Study". En egentlig metanmassebalance for etape 0 før etableringen af bicoover kan ikke opstilles, da andelen af metan, der oxideres, ikke kendes. Ellers ville den være givet ved følgende ligninger:

$$\text{CH}_4 \text{ Produktion} = \text{CH}_4 \text{ Emitteret} - \text{CH}_4 \text{ Indvundet} - \text{CH}_4 \text{ Oxideret}$$

$$\text{CH}_4 \text{ Produktion} = \text{CH}_4 \text{ Emitteret gennem overfladen fra hotspots} + \text{CH}_4 \text{ Emitteret via åbne gasboringer} - \text{CH}_4 \text{ Oxideret}$$

Resultaterne fra de øvrige led i metanmassebalancen er vist i Tabel 4.5.

Den samlede gasproduktion fra etape 0 er i 2008 beregnet til 637.602 kg metan svarende til en metanproduktion på 1.747 kg metan per dag. Som det fremgår af Tabel 4.5, er der stor forskel på den beregnede metanproduktion og de målte emissioner.

Gasemissionen er målt dels ved at måle emissionen fra overfladen og to åbne borer på etape 0 og dels ved at måle den totale emission vha. fanemålinger nedvinds etape 0. Den samlede metanemission fra hotspotområder ($55,5 \text{ kg d}^{-1}$) og fra to tidligere gasindvindingsboringer ($5,1 \text{ kg CH}_4 \text{ d}^{-1}$) på etape 0 er bestemt til $60,6 \text{ kg d}^{-1}$. Til sammenligning er den samlede metanemission fra etape 0 bestemt ved nedvindsmålinger i fanen til 200 kg d^{-1} . Resultaterne af de to forskellige målekampanjer indikerer, at der formentlig er emissionsområder på etape 0, som ikke er fundet ved overfladescreeningen. Dette kan skyldes, at der findes flere områder på etape 0, hvor der sker metanemission, men at denne er så lav, at den ikke giver anledning til en målbar metankoncentration i den overliggende luft. Alternativt er det muligt, at der ved totalmålingen af fanen fra etape 0 også indgår bidrag fra andre områder som f.eks. etape 2 (jorddeponi), som ellers er antaget ikke at bidrage med gasproduktion.

		kg/time	kg/dag
Metan produceret	Estimeret ved model	73	1747
Metan emitteret via hotspots		2,3	55
Metan emitteret via åbne borer		0,2	5
Total metan emitteret via overflade og åbne borer		2,5	60
Total emitteret metan målt nedvinds for etape 0	Kampagne 1	7,8	187
	Kampagne 2	8,9	214
	Gennemsnit	8,3	200

Tabel 4.5. Samlet overblik over metanemissionsmålinger udført på etape 0 som en del af "Baseline Study".

5 Valg af materialer til biocover

5.1 Valg af materialer

For at kunne konstruere et effektivt biocover-system må flere ting være opfyldt. Først er det vigtigt at få etableret gasdræn, der kan opsamle så stor en del af deponigassen som muligt og få den ledt hen til gasfordelingslaget under biovinduerne, hvor metanoxidationen skal foregå. Det er også vigtigt, at gasfordelingslaget kan fordele gassen jævnt under biovinduerne, da nogle områder ellers vil få en større metanbelastning, end bakterierne i biolaget vil kunne omsætte, hvilket vil føre til områder med metanemission. Omvendt vil andre områder modtage for lidt metan, hvorved biolagets metanoxiderende potentiale ikke vil udnyttes optimalt.

Udover et funktionelt gasfordelingslag er biovinduerne evne til at omsætte metan naturligvis essentiel for effektiviteten af et biocoversystem. Det er derfor vigtigt, at udvælge det rigtige materiale til opbygningen af biovinduerne. Materialet skal både være meget permabelt og have en høj metanoxideringsaktivitet. En god permeabilitet medvirker til at opretholde aerobe forhold og er nødvendig for at sikre, at deponigas nedefra har lettere ved at strømme igennem biovinduet end igennem den omkringliggende slutfodækning. Jorden, der bruges til den endelige afdækning, har typisk et højt lerindhold og er derfor ikke særlig permeabel. Er det underliggende gasfordelingslag i stand til at opsamle og fordele deponigassen, vil man derfor opnå, at en stor del af gassen strømmer igennem biovinduerne. Dette vil forøge effektiviteten af biocover-systemet. Udover krav til permeabiliteten er det naturligvis også vigtigt, at materialet i biovinduerne har en så høj metanoxideringsaktivitet som muligt. Herved optimeres mulighederne for oxidationen af metangas, og man opnår i tilgift, at det bliver muligt at konstruere effektive biovinduer af mindre dimensioner.

I de følgende afsnit beskrives de resultater, der har dannet grundlaget for udvælgelsen af materialet til biovinduerne på Klintholm.

5.2 Kompostmaterialer

Kompost vurderes som et velegnet materiale til konstruktion af biovinduer, da det har en høj permeabilitet, høj vandtilbageholdelsekapacitet, lav termisk ledningsevne, stor specifik overflade og ofte en høj mikrobiologisk aktivitet. Komposten kan desuden produceres lokalt på Klintholm losseplads, hvilket gør den både relativt billig og let tilgængelig. For at kunne udvælge den bedst egnede komposttype til opbygningen af biovinduerne blev metanoxideringspotentialer for en række forskellige typer af kompost og kompostsammensætninger undersøgt i laboratoriet ved udførsel batch- og kolonneforsøg. I disse forsøg tilsættes metan og ilt, hvorefter omsætningen af disse måles. På baggrund heraf kan udregnes metanoxideringsrater. Det er vigtigt, at kompostmaterialet er stabilt dvs. ordentligt modnet, da i modsat fald kompostmaterialet efter ilægning i biovinduerne vil efterkompostere under forbrug af ilt. De bakterier, der omsætter komposten ved almindelig respiration, vil derved konkurrere om ilt med de metanoxiderende bakterier, hvilket kan nedsætte effektiviteten af kompostmaterialet. Er komposten meget umoden kan det føre til anaerobe forhold i den nederste del af biovinduet og komposten kan i værste fald begynde at producere metan (Scheutz et al. 2009b; Barlaz et al. 2004). Med formålet at undersøge kompostmaterialernes stabilitet er der udført respirationsforsøg for at bestemme iltforbruget, samt anaerobe nedbrydning med formålet at bestemme metanproduktionspotentialer.

Der produceres to typer kompost på Klintholm Losseplads en såkaldt have/park kompost og en køkkenkompost. Have/park komposten laves på baggrund af have og park affald, der nedknuses, oplagres, vendes og sorteres. Sorteringen kan ske på et 15 mm sold eller et 45 mm sold. Køkkenkomposten laves af organisk affald fra husholdninger blandet med lige dele have/park affald efter volumen. Der er importeret have-park kompost fra Svendborg, da det viste sig, at der ikke var nok materiale på Klintholm. Der er derfor ligeledes udført forsøg med kompost fra Svendborg samt en blanding af kompost fra Svendborg og Klintholm.

Tabel 5.1 viser en oversigt over kompostfraktioner/blandinger, der er udført forsøg med. Karakteriseringen af de forskellige kompostfraktioner/blandinger blev foretaget ved standardiserede analysemetoder for tørstofindhold og vandindhold (Standard methods, 1998).

Tabel 5.1. Oversigt over sammensætning og karakteristik af de forskellige kompostblandinger testet i batch og kolonneforsøg.

Nr.	Komposttype	Deponi	Alder	Sigtestørrelse (mm)	Vandindhold	Organisk stof
					(per 100 g TS*)	
1	Have-park_15	K	6-8 mån.	<15	32,8	28,4
2	Have-park_45	K	6-8 mån.	<45#	41,0	27,5
3	Køkken_15	K	6-8 mån.	<15#	65,0	21,6
4	Køkken_45	K	6-8 mån.	<45	84,2	46,7
5	Blanding af have-park_15/ Køkken_45 (1:1)	K	6-8 mån.	<15 <45	57,5	31,7
6	Køkken_15	K	5 år	<15	26,5 ± 0,40	15,3 ± 1,19
7	Køkken_15	K	6 mån	<15	38,98 ± 2,19	22,10 ± 1,12
8	Have-park_15	S	2-3 år	<15	43,36 ± 1,62	16,89 ± 0,44
9	Blanding af have-park_15/ Køkken_15 (6/1)	S/K	2-3 år 6 mån	<45	39,94 ± 4,08	18,76 ± 1,99
10	Blanding af have-park_15/ Køkken_15 (7:2) (Denne blanding er ilagt bio-vinduerne og prøven er udtaget fra biovinduerne)	S/K	2-3 år 6 mån	<45#	35,22 ± 0,61	18,78 ± 0,27

K: Klintholm; S: Svendborg; * TS: Tørstof; #Udført akkrediterede analyser vedlagt i bilag H.

5.3 Batchforsøg til bestemmelse af potentialet for metanoxidation, iltforbrug til respiration og anaerob metanproduktionspotentiale

5.3.1 Opsætning af batchforsøg til bestemmelse af potentialet for metanoxidation, iltforbrug til respiration og anaerob metanproduktionspotentiale

Batchforsøg til bestemmelse af metanoxidationspotentialet Metanoxideringsforsøgene blev udført med formålet at bestemme den maksimale metanoxidation. Endvidere blev forbruget af oxygen, samt produktionsraterne for kuldioxid i de forskellige kompostfraktioner/blandinger målt. 70 g fugtig kompost blev tilsat 1L glasflasker med gummiprob fastholdt med skrue-låg. Forsøgene er pre-inkuberet en gang med en luftblanding bestående af 15 % v/v metan og 35 % v/v O₂ med henblik på at forøge den mikrobielle aktivitet og forkorte en eventuel lag-fase for de metanotrofe bakterier. Efter pre-inkubation er flaskerne udluftet og igen fyldt med en blanding af 15 % v/v metan og 35 % v/v O₂. Det høje iltindhold er valgt for at sikre optimale forhold for metanoxideringen, således at flaskerne ikke bliver anaerobe over tiden.

Derudover blev der også udført kontrolforsøg med steriliseret groft sand for at evaluere gassernes koncentrationsændringer som følge af abiotiske processer (abiotisk nedbrydning, sorption og fordampning). De abiotiske forsøg blev opsat efter samme procedure som de biologisk aktive og kørt parallelt.

Indholdet af O₂, CO₂, CH₄ og N₂ i gasprøverne fra batchflaskerne blev analyseret vha. gaskromatografi (Chrompack Micro GC, CP-2002 GC udstyret med termisk konduktivitetsdetektor samt to forskellige kolonner: en 10 m Poraplot Q kolonne og en 4 m Molsieve 5A kolonne). Kolonnitemperaturen var 40° C og helium blev benyttet som bæregas. To gasblandinger i forskellige koncentrationer (metan/nitrogen og oxygen/nitrogen; Mikrolab, Aarhus, Danmark) blev benyttet til kalibrering i koncentrationsområdet fra 0,2 til 50 vol-%.

Der er kontinuerligt udtaget gasprøver til beregning af omsætningen af metan og ilt samt produktionen af kuldioxid. På baggrund af de målte gaskoncentrationer, er der beregnet maksimale nulte-ordens

omsætningshastigheder. Alle rater er beregnet per gram tørvægt (TS). Ved beregningerne er der taget højde for trykændringer i forsøgsflaskerne som følge af gasomsætningen. Alle forsøg er udført i minimum duplikater ved stuetemperatur (22° C).

Batchforsøg til bestemmelse af iltforbruget til respiration

Der er udført en række batchforsøg med formålet at bestemme iltforbruget til respiration. For anvendelse af kompost i biocover bede til metanoxidation er det vigtigt, at materialet har et lavt iltforbrug, da bakterierne der nedbryder og omsætter komposten ellers vil konkurrere om ilten med de bakterier, der omsætter metan. Forsøgene blev udført som de tidligere beskrevet metanoxiderationsforsøg, blot blev der til start tilsat ren ilt således, at startkoncentrationen af ilt i flaskerne var 35 % v/v. Nulte-ordens omsætningshastighederne blev beregnet for iltforbruget og kuldioxid-produktionen.

Batchforsøg til bestemmelse af metanproduktion under anaerobe forhold

Der er udført batchforsøg med formålet at bestemme metanproduktionen af kompostmaterialet under anaerobe forhold. I tilfældet af at de nederste dele af kompostlaget bliver anaerobe, kan der dannes metan, hvis materialet ikke er stabilt og modent. Forsøgene er udført som de tidligere beskrevne forsøg, blot er flaskerne skyllet med nitrogen ved opsætningen, således at de er anaerobe fra start. Der blev i hele forsøgsperioden udtaget gasprøver for at måle produktionen af metan og kuldioxid. Der blev udregnet nulte-ordens metanproduktionsrater på baggrund af de målte gaskoncentrationer.

5.3.2 Potentialet for metanoxidation bestemt ved batchforsøg

Resultaterne fra metanoxiderationsforsøgene er vist i Tabel 5.2. På baggrund af de udførte forsøg kan følgende observationer drages:

- De højeste metanoxiderationsrater er set i forsøg med køkkenkompost, hvor de højeste rater er målt til $109 \text{ ug g}^{-1} \text{ t}^{-1}$ for en køkkenkompost sigtet på 15 mm sold. Ved gentilsætning af metan til forsøg med køkkenkompost er set en stigning i metanoxiderationsraten fra 60,5 til $139,5 \text{ ug g}^{-1} \text{ t}^{-1}$.
- Generelt er der set ca. 10 gange højere metanoxiderationsrater i forsøg med compost sigtet på et mindre sold (mindre kornstørrelse $< 15 \text{ mm}$) sammenlignet med compost sigtet på et større sold ($< 45 \text{ mm}$). Dette kan skyldes, at det finere sorteret materiale har en større specifik overflade og derved indeholder flere bakterier sammenlignet med de mere grovkornede materialer. Denne observation gør sig gældende for forsøg med både have-park compost og køkkenkompost.
- Generelt sås også meget høje iltforbrug i forsøg med køkkenkompost sammenlignet med forsøg med have-park compost.
- Med formålet at opnå en høj metanoxiderationsrate samt et lavt iltforbrug blev udført forsøg med en blanding af have-park og køkken compost, hvilket viste metanoxiderationsrater på mellem 31,4 og $75,7 \text{ ug g}^{-1} \text{ t}^{-1}$. Ved gentilsætning af metan sås dog lavere metanoxiderationsrater, hvilket kunne indikere næringsstofbegrænsning i systemet.

Tabel 5.2. Oversigt over metan og iltforbrug samt kuldioxid produktionsrater i flaskeforsøg med compost inkuberet med metan og ilt. Alle forsøg er udført i minimum duplikater ved 22°C .

Nr.	Komposttype	Rate ($\text{ug g TS}^{-1} \text{ timer}^{-1}$)			Tid ^a (timer)
		CH ₄	O ₂	CO ₂	
1	Have-park_15	-3,6 ± 0,2	-23,3 ± 0,6	21,2 ± 0,03	480
2	Have-park_45	-0,6 ± 0,2	-36,5 ± 2,9	49,3 ± 0,3	385
3	Køkken_15	-109,4 ± 15,4	-305,5 ± 39,5	174,6 ± 43,0	25
4	Køkken_45	-0,8 ± 0,5	-30,8 ± 3,0	38,6 ± 4,7	480
5	Blanding af have-park_15/ Køkken_45 (1:1)	-1,2 ± 0,1	-23,4 ± 0,2	22,0 ± 2,2	430
6	Køkken_15 (5 år)	-8,5 ± 0,5	-24,6 ± 1,4	12,5 ± 0,6	265
7	Køkken_15 (6-8 mån)	-60,5 ± 0,7	-221,6 ± 11,1	141,2 ± 6,7	46
7*	Køkken_15 (6-8 mån)	-139,5 ± 0,8	-454,6 ± 0,2	249,6 ± 0,2	17
8	Have-park_15 (Svendborg)	-66,9 ± 11,4	-172,4 ± 58,3	73,9 ± 13,1	48
8*	Have-park_15 (Svendborg)*	-25,2 ± 1,5	-96,6 ± 10,3	52,4 ± 2,2	90
9	Blanding af have-park_15 (Svendborg)/ Køkken_15 (Klintholm)(6/1)	-75,7 ± 12,6	-208,5 ± 16,9	107,1 ± 6,1	40
9*	Blanding af have-park_15 (Svendborg)/ Køkken_15 (Klintholm)(6/1)*	-24,8 ± 1,9	-100,7 ± 7,6	75,1 ± 10,1	83
10	Blanding af have-park_15/Køkken_15 (7:2) (Biocover)	-31,4 ± 12,5	-98,2 ± 29,9	53,1 ± 25,4	68
10*	Blanding af have-park_15/Køkken_15 (7:2) (Biocover)*	-12,5 ± 4,6	-97,60 ± 30,0	135,58 ± 74,8	100

^a Forsøgets varighed.

* Gentilsætning af metan. Når metanen i forsøgsflasken var fuldstændigt oxideret, blev flasken udluftet og forsøget gentaget.

Metanoxiderationsraterne er sammenlignelige med rater set i forsøg med kompostmaterialer fra Fakse Losseplads, hvor der sås metanoxiderationsrater på mellem 3,2 og 53,4 ug g⁻¹ t⁻¹ (Pedersen et al., 2010a). Ved geninjektion af metan sås dog rater op til 160,6 ug g⁻¹ t⁻¹ (Pedersen et al., 2010a). Kompostprøver udtaget fra et af kompostvinduerne på Fakse Losseplads ca. 8 måneder efter etablering viste metanoxiderationsrater på mellem 15 og 168 µg g⁻¹ t⁻¹ (Scheutz et al., 2011a). Forskellen i metanoxiderationsrater kunne tilskrives forskelle i metanbelastningen til de enkelte områder i biovinduet, hvor kompostprøverne blev udtaget.

5.3.3 Iltforbrug til respiration bestemt ved batchforsøg

Resultaterne fra respirationsforsøgene er vist i Tabel 5.3. På baggrund af de udførte forsøg, kan følgende observationer drages:

- Den mest stabile kompost dvs. den kompost med det laveste iltforbrug er den 5 år gamle køkkenkompost, hvor der sås et iltforbrug på 1,0 ug g⁻¹ t⁻¹.
- De højeste iltforbrug (> 50 ug g⁻¹ t⁻¹) sås i forsøg med i forsøg kompostmaterialer sorteret på det grove sold (< 45 mm). Generelt sås en stigning i iltforbruget på en faktor tre til fire for materialer sorteret på sold 45 (< 45 mm) frem for sold 15 (< 15 mm).
- For anvendelse af kompostmaterialer i metanoxiderationsbede til reduktion af metanemissionen fra deponier anbefales at iltforbruget er under 8 mg O₂/g målt over 7 dage, hvilket svarer til et timeforbrug på ca. 48 ug g⁻¹ t⁻¹ (Humer og Lechner, 2001). Det fremgår af resultaterne i Tabel 5.3, at med undtagelse af den grove have-park-kompost og blandingen af have-park og køkkenkompost opfylder alle andre komposttyper dette krav.

Tabel 5.3. Oversigt iltforbrug og kuldioxidproduktion i respirationsforsøg med kompost inkuberet med ilt. Alle forsøg er udført i minimum duplikater ved 22° C.

Nr.	Komposttype	Rate (ug g TS ⁻¹ timer ⁻¹)		Tid ^a (timer)
		O ₂	CO ₂	
1	Have-park_15	-16,4 ± 0,7	20,7 ± 2,5	697
2	Have-park_45	-55,7 ± 0,1	74,7 ± 0,6	530
3	Køkken_15	-8,9 ± 1,0	11,0 ± 1,4	697
4	Køkken_45	-33,8 ± 1,7	45,8 ± 2,4	530
5	Blanding af have-park_15/ Køkken_45 (1:1)	-58,2 ± 4,9	74,8 ± 5,0	530
6	Køkken_15 (5 år)	-1,0 ± 0,1	0,9 ± 0,0	810
7	Køkken_15 (6-8 mån)	-31,8 ± 2,6	40,3 ± 4,3	378
8	Have-park_15	-14,0 ± 2,0	21,9 ± 3,4	450
9	Blanding af have-park_15/ Køkken_15 (6/1)	-13,8 ± 0,9	16,6 ± 2,6	450

10	Blanding af have-park_15/ Køkken_15 (7:2) (Biocover)	-10,0 ± 0,2	18,1 ± 4,4	400
----	--	----------------	------------	-----

^a Forsøgets varighed.

Kompostblandingen ilagt bioinduerne har et iltforbrug på 10,0 ug g⁻¹ t⁻¹, hvilket betyder, at komposten kan betragtes som værende stabil. Iltforbruget er dog dobbelt så højt, som iltforbruget målt i komposten anvendt i bioinduerne på Fakse Losseplads (3,8 ug g⁻¹ t⁻¹) (Pedersen et al., 2010a). Forsøg med kompostprøver udtaget fra bioinduerne på Fakse 8 måneder efter etablering viste, at iltforbruget var steget - i nogle områder helt op til 29 ug g⁻¹ t⁻¹ formentlig som følge af biologisk vækst i kompostfiltret.

5.3.4 Potentialet for anaerob metanproduktion bestemt ved batchforsøg

Resultaterne fra anaerobe forsøg til bestemmelse af metanproduktions potentialet er vist i Tabel 5.4. På baggrund af de udførte forsøg kan følgende observationer drages:

- Generelt ses, at de komposttyper med det højeste iltforbrug (se Tabel 5.3) også er dem, der har det højeste metanproduktionspotentiale. De højeste metanproduktionspotentiale (> 2 ug g⁻¹ t⁻¹) sås således i forsøg med kompostmaterialer sorteret på det grove sold (< 45 mm).
- Kompostblandingen ilagt bioinduerne viste ingen metanproduktion, dog sås en lav produktion af kuldioxid

Tabel 5.4. Oversigt over metanproduktionsrater i flaskeforsøg med kompost inkuberet under anaerobe forhold. Alle forsøg er udført i minimum duplikater ved 22° C.

Nr.	Komposttype	Rate (ug g TS ⁻¹ timer ⁻¹)		Tid ^a (timer)
		CH ₄	CO ₂	
1	Have-park_15	0,2 ± 0,0	3,3 ± 0,1	526
2	Have-park_45	2,6 ± 0,01	8,1 ± 0,3	526
3	Køkken_15	-	-	526
4	Køkken_45	5,3 ± 0,3	14,9 ± 1,2	526
5	Blanding af have-park_15/ Køkken_45 (1:1)	0,8 ± 1,0	6,3 ± 3,4	530
6	Køkken_15 (5 år)	-	-	812
7	Køkken_15 (6-8 mån)	0,1 ± 0,0	29,3 ± 5,3	812
8	Have-park_15	x	7,2 ± 0,9	450
9	Blanding af have-park_15/ Køkken_15 (6/1)	x	3,9 ± 0,2	450
10	Blanding af have-park_15/ Køkken_15 (7:1) (Biocover)	x	6,4 ± 0,1	400

^a Forsøgets varighed; -: Ingen anaerob omsætning; x: Ingen metanproduktion dog produktion af kuldioxid.

5.4 Kolonneforsøg til bestemmelse af potentialet for metanoxidation

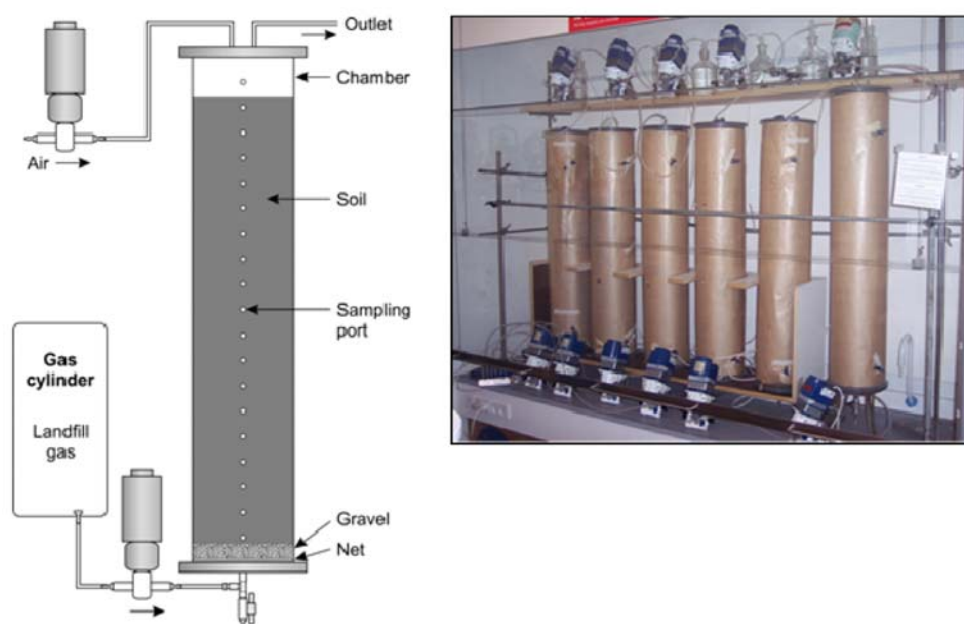
5.4.1 Opsætning af kolonneforsøg til bestemmelse af metanoxidation samt respiration

Med formålet at undersøge udviklingen i metanoxideringspotentialet over en længere periode er udført et kolonneforsøg med have-park komposten fra Svendborg samt blandingen af have-park kompost og køkkenkompost fra Klintholm. Fordelen ved kolonneforsøg er, at disse bedre simulerer de forhold, der er i

et kompostafdækningslag, hvor metangassen kommer nedefra, mens ilt diffunderer ned i materialet fra luften. Fra kolonneforsøg kan beregnes en metanoxideringsrate i enheden g CH_4 per m^2 per dag, hvilket skal bruges til dimensionering af bioinduet.

Kolonnerne er udført i plexiglas; 1 m lange og med en diameter på 25 cm. Kolonnen er udstyret med porte til udtagning af gasprøver over dybden. Der ledes en gasblanding bestående af lige dele metan og kuldioxid ind i bunden af kolonnen. Metantilførelsen i bunden af kolonnen er ca. $215 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, hvilket svarer til en losseplads med en relativ høj gasemission. I toppen af kolonnen blæses der atmosfærisk luft igennem et lille kammer (60 mL min^{-1}). Opsætningen simulerer et afdækningslag af ca. 1 m tykkelse, hvor der kommer lossepladsgas til forinden og ilt fra atmosfæren ovenfra. Kompostmaterialet blev fugtet med vand, inden det blev pakket i kolonnen. Figur 5.1 viser et billede af forsøgskolonnen.

Til undersøgelse af respiration er samme forsøgsopsætning brugt, blot er der lukket for indløbet af metangas i bunden af kolonnen, mens der stadig tilføres atmosfærisk luft igennem kammeret i toppen af kolonnen.



Figur 5.1. Billede af forsøgskolonne til test af metanoxideringspotentialer af kompostmaterialer.

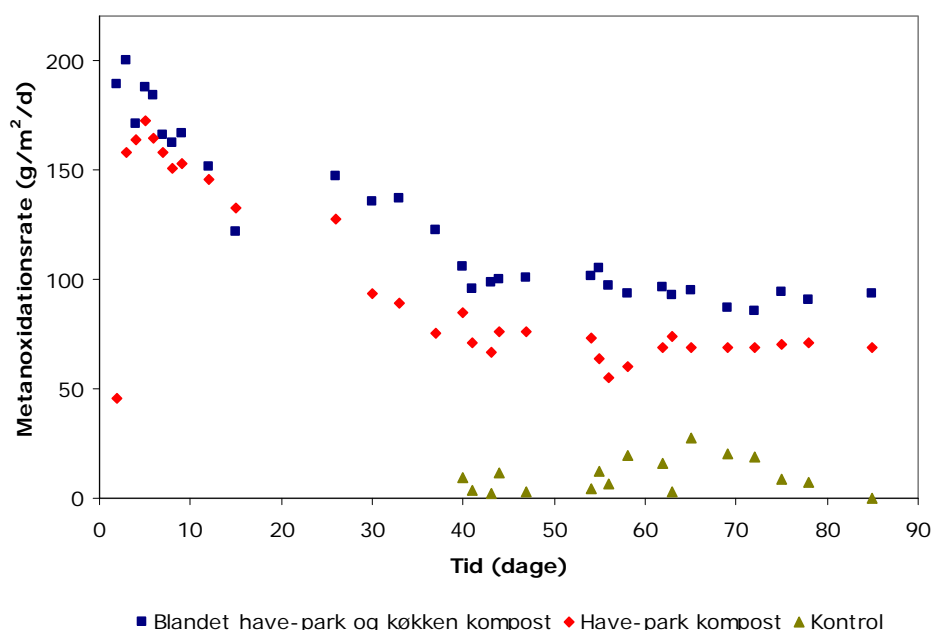
5.4.2 Bestemmelse af metanoxidation samt respiration i kolonneforsøg

Metanoxideringsraterne fra kolonneforsøget er vist i Tabel 5.5. Figur 5.2 viser omsætningsraterne for metan, ilt og kuldioxid over tiden. Det ses af Figur 5.2, at metanoxideringsraten for begge kolonner falder fra ca. $170\text{--}190 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ til $70\text{--}100 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ i løbet af de første 40 dage, hvorefter raten stabiliseres. Den højeste rate er set i kolonnen med blandet have-park kompost og køkken kompost, hvor der måles en metanoxideringsrate under steady state (stabile) forhold på ca. $96 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, hvilket svarer til en reduktion på 44 %. Tilsvarende ses i kolonnen med ren have-park kompost en steady state oxideringsrate på $70 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, svarende til en reduktion på 33 %. De opnåede metanoxideringsrater er sammenlignelige med rater set i kolonneforsøg med kompostmaterialer fra Fakse Losseplads, hvor der sås rater fra 45 til $120 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, svarende til en reduktion på mellem 23 og 61 % under steady state forhold (Pedersen et al., 2010a).

Tabel 5.5. Metanoxiderationsrater målt i kolonneforsøg med kompostmateriale. Raterne er beregnet på baggrund af data vist i Figur 5.2. Forsøgene er udført ved rumtemperatur (22° C). Vandindhold og organisk indhold er angivet per 100 g TS.

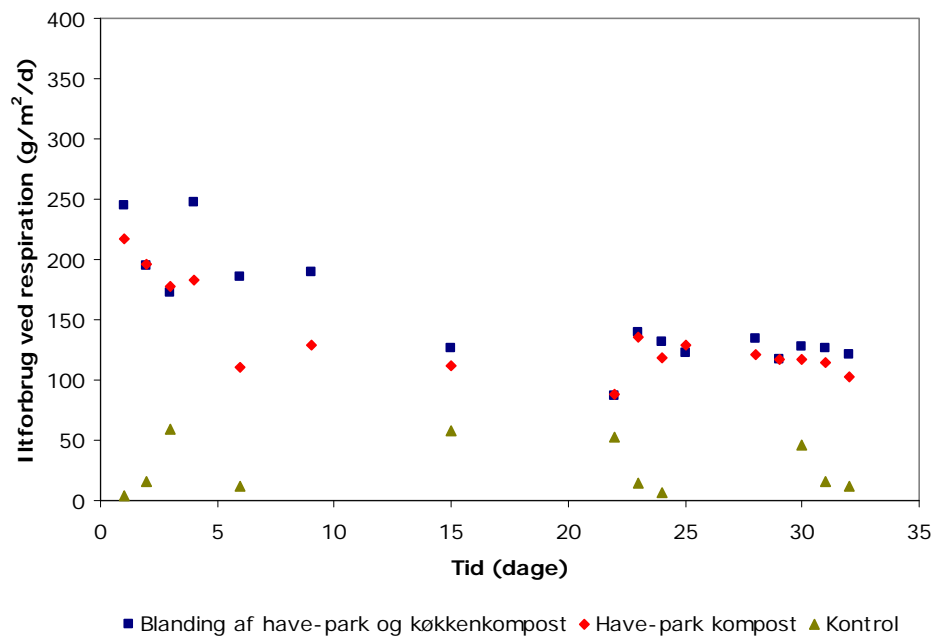
Kolonne	Vand-indhold	Organisk indhold	CH ₄ load	CH ₄ oxidationsrate			CO ₂ produktions-rate	O ₂ forbrugs-rate	Varig-hed
				Steady state		Max	Steady state	Steady state	
	%	%	g m ⁻² d ⁻¹	g m ⁻² d ⁻¹	%	%	g m ⁻² d ⁻¹	g m ⁻² d ⁻¹	dage
S/K	40 ± 4	19 ± 2	216 ± 5	96 ± 6 ^a	44 ± 6 ^a	91	373 ± 34 ^a	360 ± 23 ^a	85
S	39 ± 4	22 ± 1	213 ± 6	70 ± 7 ^b	33 ± 3 ^b	80	417 ± 43 ^b	337 ± 26 ^b	85
C	-	-	216 ± 5	10 ± 8	5 ± 4	13	1 ± 38	-23 ± 38	85

S: Have-park kompost fra Svendborg; S/K: Blanding af have-park kompost fra Svendborg og køkkenkompost fra Klintholm.



Figur 5.2. Metanoxiderationsrater (g m⁻² d⁻¹) over tid i kolonneforsøg med kompostmateriale. Metantilførslen til kolonnen er på ca. 215 g m⁻² d⁻¹. Forsøget er udført ved rumtemperatur (22° C).

Iltforbruget ved respiration fra kolonneforsøgene er vist i Figur 5.3. Af figuren fremgår, at iltforbruget til respiration for begge kolonner falder fra ca. 250-210 g m⁻² d⁻¹ til 110-120 g m⁻² d⁻¹ i løbet af de første 15 dage, hvorefter raten stabiliseres. Det højeste iltforbrug er målt i kolonnen med blandet have-park kompost og køkken kompost, hvor der måles et iltforbrug under steady state forhold på ca. 110 g m⁻² d⁻¹. For begge kolonner er målt en kuldioxidproduktion på ca. 170 g m⁻² d⁻¹ under steady state forhold. Til sammenligning er der i et kolonneforsøg med kompost fra Fakse Losseplads målt et iltforbrug til respiration på 63±12 g m⁻² d⁻¹. Kuldioxidproduktionen blev målt til 107±14 g m⁻² d⁻¹. Einola et al., (2009) har estimeret kuldioxidproduktionen fra respiration til mellem 4 og 36 g m⁻² d⁻¹ for et jordlag, hvor Huber-Humer (2004) har rapporteret en kuldioxidproduktion på ca. 23 g m⁻² d⁻¹ for en 120 cm tykt kompostlag. Dever et al. (2009) har målt en gennemsnitlig kuldioxidemission på 144 g m⁻² d⁻¹ fra to kompostfiltre, under afkobling af metantilførsningen til filtrene, hvilket er sammenligneligt med de fundne rater i kolonneforsøgene i dette studie. Overordnet viser kolonneforsøgene, at der vil være et vist iltforbrug til respiration i komposten særligt i starten efter ilægning af komposten.

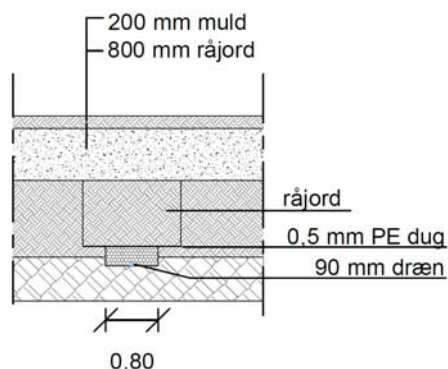


Figur 5.3. Iltforbrug ($\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$) over tid i kolonneforsøg med kompostmateriale. Forsøget er udført ved rumtemperatur (22°C).

5.5 Valg af kompostmateriale til opbygning af biovinduer

På baggrund af resultaterne fra batch- og kolonneforsøgene valgte man at benytte en blanding af have-park kompost fra komposteringsanlæggene i Svendborg og køkkenkompost Klintholm i forholdet 7/2 til biovinduerne. Køkkenkomposten har i forsøgene vist sig at have et højt metanoxideringspotentiale, mens havekomposten vil sikre en god permeabilitet i kompostlaget.

Renderne blev gravet ca. 1,5 m brede, og i bunden gravedes en 0,3 m dyb og 0,8 m bred rende. I denne rende blev udlagt et ø80/92 mm drænrør, og renden blev herefter fyldt med singels (ø 32-64 mm). Den lille rende overdækkedes med en 0,5 mm LDPE membran, mens den store rende blev fyldt med den opgravede råjord. Princippet i rendernes opbygning fremgår af Figur 6.3.



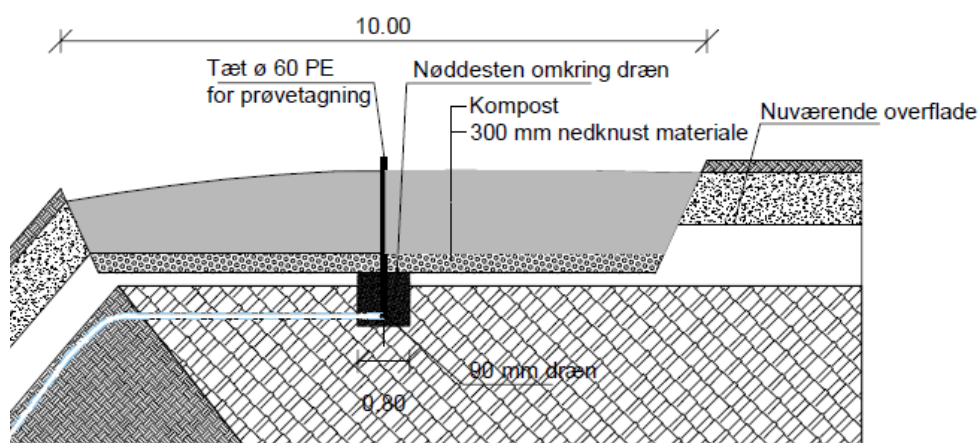
Figur 6.3. Snit A-A princip i renderne på skråninger.

Der er udlagt en LDPE membran over renden med singles og dræn for at minimere udsivning af gas fra renden. Drærenderen er ført op ad skråningen og ind under biovinduerne. På denne måde opsamles gassen langs skråningerne og ledes op under biovinduerne.

6.2.3 Biovinduer

Under biovinduerne er der gravet en langsgående 0,8 m bred rende, der har fuld kontakt til affaldet. Drærenderne fra skråningerne er ført ind i denne rende ca. 0,5 m under bunden af biovinduerne. Renden under biovinduerne er fyldt med knust beton (ø20-60 mm), og der er lagt et ø80/90 dræn 0,5 m under bunden af biovinduet. Drænet fra skråningerne er tilsluttet drænet under biovinduet og renden er fyldt med nøddesten til undersiden af biovinduet.

Biovinduerne er 10 m bredde. I bunden er der udlagt 0,3 m groft nedknust betonmateriale og herover er udlagt 0,7 m kompost. Komposten er udlagt så løst som muligt. Princippet i biovinduets opbygning fremgår af Figur 6.4.



Figur 6.4. Opbygning af biovinduet.

Biovinduerne er placeret ved skråningernes top. For at der kan udtages gasprøver fra forskellige områder, er biovinduerne opdelt i sektioner. Mellem sektionerne er både dræn og drærender afbrudt. I hver sektion er der monteret et tæt ø60 PE rør. PE røret er tilsluttet det underliggende dræn og er afsluttet over terræn med en tæt slutmuffe påmonteret en ventil til prøvetagning af rågassen i gasfordelingslaget. Placeringen af biovinduer og drærender fremgår af Figur 6.5, mens et flyfoto af etape 0, taget efter etableringen af biocoversystemet, kan ses i Figur 6.6.



Figur 6.5. Plantegning af etape 0.



Figur 6.6. Flyfoto af etape 0 taget efter færdiggørelsen af biocoveret. Biocoverets 9 sektioner ses tydeligt på toppen af etappen. På dette tidspunkt er de endnu uden bevoksning, mens skrænterne er vokset til. De etablerede stenfaskiner på skrænterne til bortledning af overfladevand fremstår ligeledes tydeligt.

6.2.4 Afvanding

I forbindelse med projektet er der ligeledes etableret en overfladeafvanding. På toppen af etappen er der etableret et system af grøfter, der leder vandet uden om bioinduerne. Overfladevandet ledes dels via grøfter videre ned langs adgangsvejen, eller det ledes via ca. 0,2 m dybe og 0,8 m brede stenfaskiner ned af skrænterne.

Ved foden af skrænterne opsamles overfladevandet i et system af grøfter, brønde og ledninger og bortledes som spildevand. Det vil være muligt i fremtiden at aflede overfladevandet til recipient, såfremt det med analyser kan dokumenteres, at vandet overholder gældende udledningskrav. De udførte grøfter er forede med ler. Der er udlagt drænelininger i bunden, hvorefter grøfterne er fyldt op med nøddesten.

På toppen af etappen er der etableret en vendeplads, samt en kørevej langs bioinduerne så det er muligt, at færdes langs bioinduerne for at udtage prøver m.m.

6.2.5 Monitoring af totalemissionen under etablering af biocoversystem - før og efter ilægning af kompost

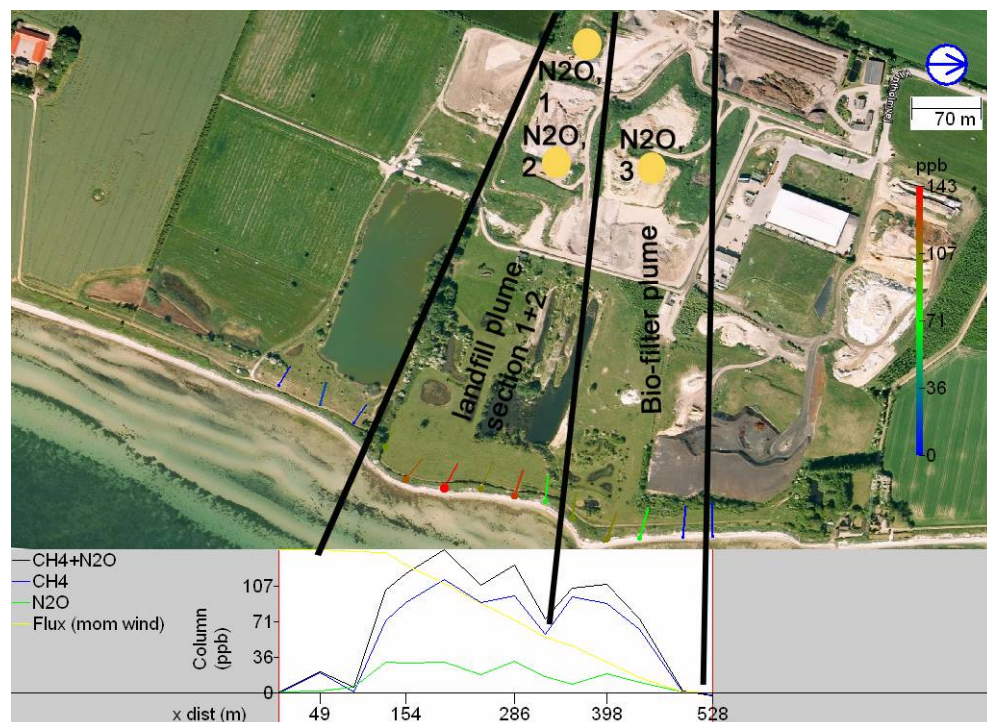
Der blev udført to målekampaner i perioden omkring færdiggørelsen af biocoversystemet. Den første blev foretaget d. 17. august 2009 efter etableringen af systemet men før ilægning af kompost i de ni biocoverbede, mens den anden målekampagne blev udført d. 25. september 2009 efter ilægning af komposten.



Figur 6.7. Billeder fra etableringen af biocoversystemet. Tv. ses en af biocoverets 9 sektioner, før komposten udlægges over det etablerede gasfordelingslag af nedknust beton. Th. Udlægning af komposten påbegyndes. I midten af biovinduet anes desuden det orange PE-rør opsat til gasprøvetagning fra gasfordelingslaget.

Ved målingen d. 17. august 2009 var placeringen af de tre gasflasker med sporgas den samme som ved målekampagnen d. 5. august 2008. Placeringen fremgår af Figur 4.12. Der blev frigivet sporstof i form af N_2O fra eet sted på etape 0 og to steder på etape 1. Frigivelsesraterne for de to gasflasker på etape 1 var 2,36 kg/t og 2,32 kg/t respektivt, mens den for gasflasken placeret på etape 0 var 1,57 kg/t. Til måling af emissionen fra komposteringsanlægget blev sporstoffet frigivet fra et sted centralt på komposteringsarealet. Placeringen var her ligeledes den samme som ved målingen d. 5. august 2008, og frigivelsesraten var 1,05 kg/t. Der blev foretaget 4 gennemkørsler af metanfanen fra komposteringsarealet, og metanemissionen blev bestemt til $2,6 \pm 0,8$ kg/t.

Ved målingen d. 25. september 2009 blev der også benyttet tre sporstofflasker (N_2O), men efter de indledende målinger blev deres placering ændret. Frigivelsesraterne for alle tre gasflasker var $2,59 \pm 0,04$ kg/t, og deres placering fremgår af Figur 6.8. Her ses ligeledes, hvordan metanfanen fra deponiet opdeles i bidrag fra de forskellige områder.



Figur 6.8. Placering af sporstofflasker samt målinger af metan-koncentrationer d. 25. september 2009. Vha. Sporstofflaske 1 og 2 forsøges metanemissionen fra etape 1 bestemt, mens sporstofflaske 3 simulerer metanfanen fra etape 0. Farven på stolperne angiver metankoncentrationen i ppbv (10^{-9}) over baggrundsniveau. De små stolper, der starter ved koncentrationspriken, indikerer vindretningen ved at pege op imod vinden, og derved imod potentielle metan-kilder. Længden af stolperne svarer til vindhastigheden. De sorte linjer viser opdelingen af metanfanen i bidrag fra de forskellige sektioner.

Metanemissionen fra komposteringsarealet blev bestemt ved benyttelse af to gasflasker med sporstof (N_2O) begge med en frigivelsesrate på $1,05 \pm 0,01$ kg/t. Der blev foretaget 5 gennemkørsler af metanfanen fra komposteringsarealet, og den gennemsnitlige metanemission blev målt til $6,1 \pm 0,3$ kg/t.

Resultaterne fra de to målekampagner er vist i Tabel 6.1. Her fremgår det, at den samlede metanemission fra etape 0 og etape 1 er målt til hhv. $11,2 \pm 1,2$ kg/t d. 17. august og $12,1 \pm 1,7$ kg/t d. 25. september 2009. Som det fremgår af Figur 6.8, er der foretaget en forsøgsvis opsplitning af metanfanen i bidrag fra de enkelte områder. Formodningen var oprindeligt, at metoden var god nok til at foretage denne kvantificering, men der har efterfølgende vist sig at være problemer med at adskille emissionerne fra etape 0 og etape 1. De forsøgsvis opsplitninger af metanfanen i bidrag fra de forskellige områder, samt de målte emissioner fra hver enkelt gennemkørsel, kan ses i bilag F.

Tabel 6.1. Oversigt over totalmålinger udført på Klintholm losseplads i 2009.

Dato	Tid	Antal af kørsler gennem metanfanen fra deponiet	Metanemission	Vind	Barometrisk tryk og lufttemperatur
17.08.2009	22:41:21-23:40:02	8	$11,2 \pm 1,2$ kg/t	4 m/s 285 deg	1010 mbar 14° C
25.09.2009	13:31:40-15:19:48	10	$12,1 \pm 1,7$ kg/t	5 m/s 270 deg	1021 mbar 20° C
Gennemsnit		(total 18)	$11,7 \pm 1,5$ kg/t		

7 Monitering af metanoxidation i biocover

7.1 Metodebeskrivelser og overblik over monitoringsarbejdet

Biocoveret blev etableret i efteråret 2009 og er efterfølgende blevet monitoreret frem til juni 2010 med henblik på at fastlægge effektiviteten af systemet.

I dette afsnit gives et overblik over monitoringsarbejdet og resultaterne af de forskellige undersøgelser præsenteres.

Hovedparten af de metoder, der er anvendt ved monitoringen af metanoxidationen i biocoveret, er tidligere blevet benyttet under arbejdet med at fastlægge metanemissionen fra etape 0 på Klintholm før etableringen af biocoveret ("baseline study"). De eneste tilføjelser er brugen af dataloggere til registrering af temperatur og vandindhold i biocoveret, installering af korte gasprober til bestemmelse af gasprofiler, samt udtag af gasprøver fra gasfordelingslaget. Bortset fra en kort beskrivelse af disse metoder henvises der derfor til afsnit 4.1 for metodebeskrivelser. Et samlet overblik over monitoringsarbejdet kan ses i Tabel 7.1.

Monitoringsarbejdet har indbefattet nedenstående elementer.

Monitering af biocover - punktmålinger:

- Kontinuerte målinger af temperatur og vandindhold (dataloggere)
- Målinger af rågassammensætningen i gasfordelingslaget
- Gasprofiler i biocover
- FID-screeninger af overfladen
- Fluxkammermålinger

Målinger af oxidationsaktivitet i biocoveret:

- Bestemmelse af oxidationsrater (laboratorieforsøg med kompostprøver udtaget fra biocoveret)
- Måling af sammensætningen af stabile carbonisotoper i metangas i gasfordelingssystemet (ikke-publicerede data)

Monitering af biocover - totalmålinger:

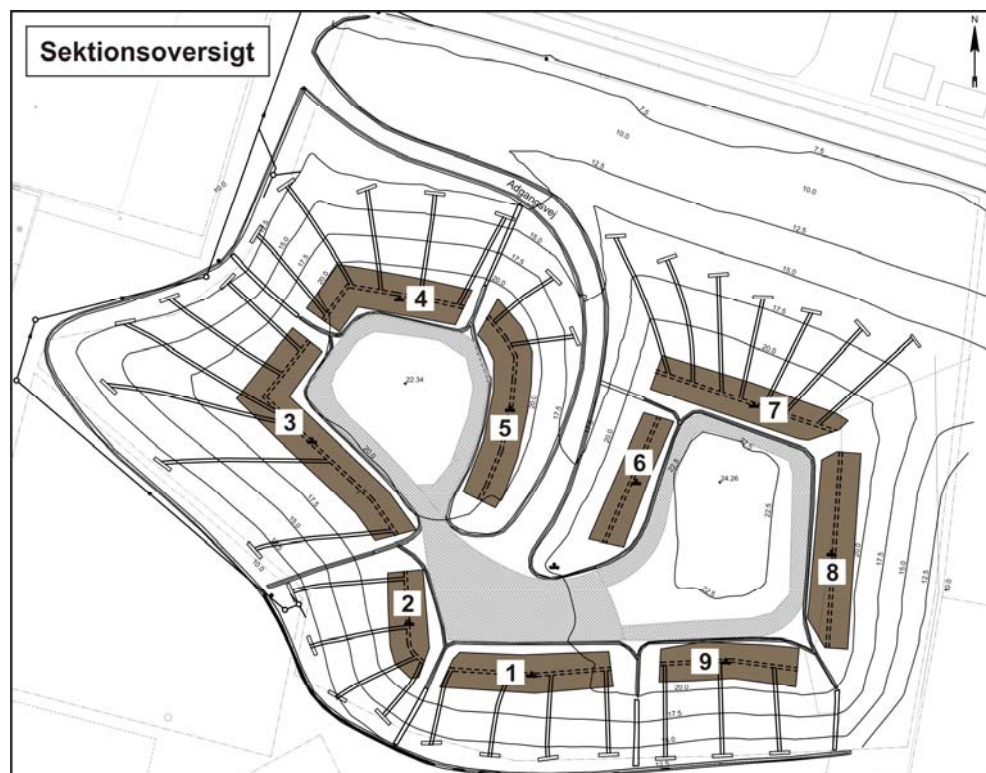
- Totalemissionsmålinger (tracer-metode)
- Måling af sammensætningen af stabile carbonisotoper i emitteret metangas (ikke-publicerede data)

Aktivitet	6/10 2009	20/1 1 2009	11/1 2 2009	18/2 2010	10/3 2010	7/4 2010	9/4 2010	6/5 2010	26/5 2010	3/6 2010	14/6 2010
Gasprofiler	x	x	x	x	x	x		x		x	
Måling af rågassammensætning					x	x	x	x		x	
Rågas - måling af stabile C-isotoper							x	x		x	
Måling af emission ved fluxkammermetode		x	x	x	x	x		x		x	
FID-screening		(x)				(x)	(x)	x		x	
Totalmåling							x		x		x
Tapning af dataloggere				x	x	x		x		x	

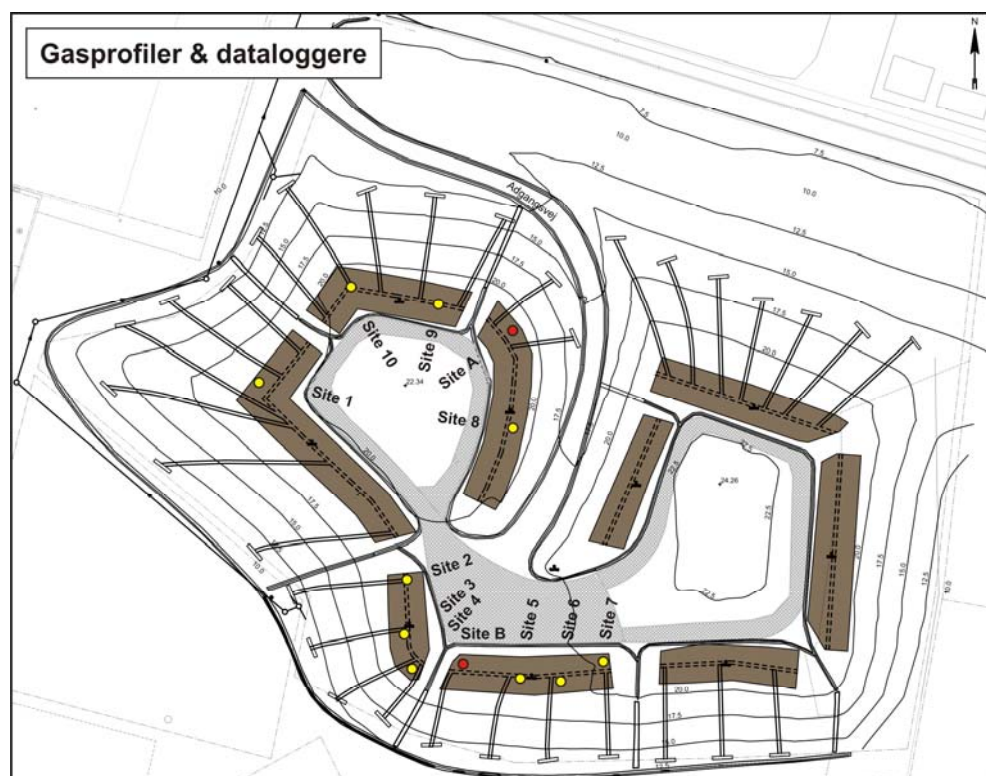
Tabel 7.1. Overblik over monitoringsarbejdet.

Biocoveret er opdelt i ni separate sektioner, der i de følgende afsnit benævnes sektion 1-9. Et oversigtskort med nummereringen af de enkelte sektioner kan ses i Figur 7.1.

For at opnå et mere detaljeret billede af emissionsmønstret og metanoxidationen i de enkelte sektioner er en del af monitoringsarbejdet begrænset til den vestlige del af biocoveret. Fluxmålinger, installering af dataloggere og gasprobesæt er således begrænset til sektion 1-5. Ved at samle flere gasprobesæt i samme sektion og sammenholde resultaterne herfra med data fra fluxmålinger og FID-screeninger på overfladen, gassammensætningen i det underliggende gasfordelingslag, samt målinger af temperatur og vandindhold fås et nuanceret billede af forholdene i de udvalgte sektioner. Placeringen af gasprobesæt og de to dataloggere i sektionerne 1-5 fremgår af Figur 7.2.



Figur 7.1. Illustration af biocoveret på etape 0 på Klintholm. Biocoveret er opdelt i 9 separate sektioner, nummereret 1-9.

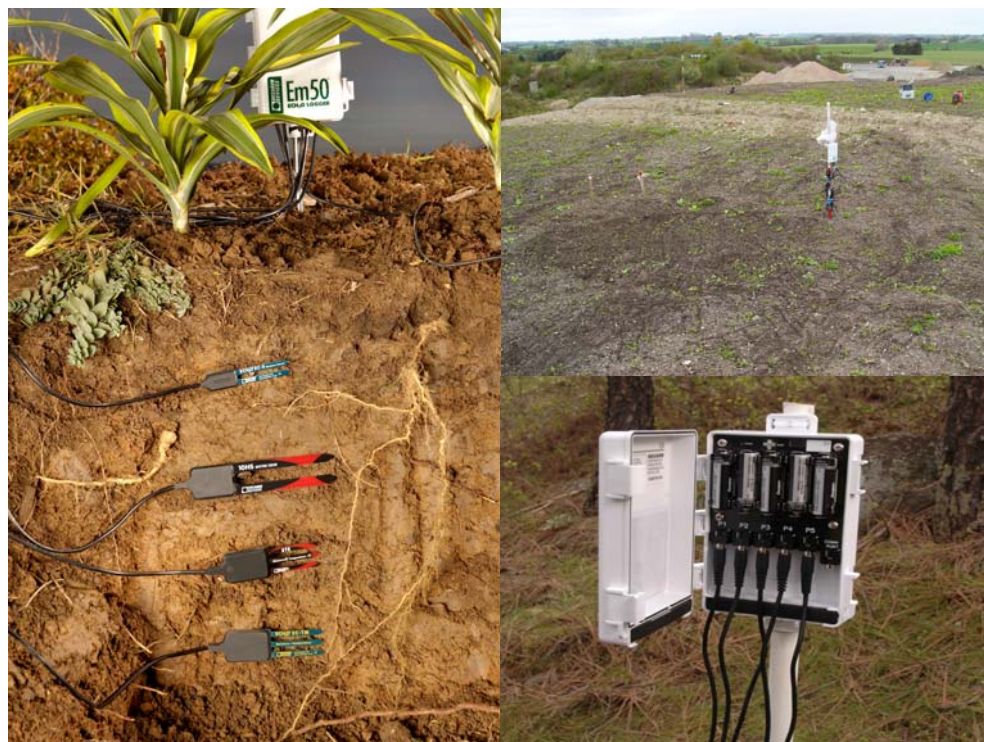


Figur 7.2. Placeringen af gasprobesæt (gule markeringer) og dataloggere (røde markeringer) på Biocoveret. Udover de ti oprindelige gasprobesæt, der er vist på tegningen, blev der d. 6. maj 2010 opsat yderligere to sæt (A og B) i direkte tilknytning til de to dataloggere.

7.1.1 Opsætning og funktion af dataloggere til måling af vandindhold og temperatur

For at overvåge vandindholdet og temperaturen i biocoveret blev der i december 2009 opsat to dataloggere af typen Em50 (Decagon Devices Inc.). Datalogger A er opsat i sektion 1, og datalogger B i sektion 5. Placeringen fremgår af Figur 7.2. Dataloggerne har registreret data for temperatur og vandindhold fra de nedgravede sensorer hver halve time i perioden fra d. 11. december 2009 og frem til den sidste felttur i monitoringskampagnen d. 3. juni 2010. Derudover er der indhentet vejrdata fra DMI's nærmest beliggende vejrstation ved Årslev og fra Klintholm I/S's egen vejrstation (se bilag B).

Til hver datalogger blev tilsluttet 5 sensorer af typen ECH₂O-EC-TM (Decagon Devices Inc.). Sensorerne måler temperatur vha. en indbygget thermistor, der er en speciel type resistor. Modstanden i resistoren varierer med temperaturen, og denne kan således beregnes. Jordens vandindhold beregner sensoren ved at måle på jordens dielektricitetskonstant, der varierer med vandindholdet. Datalogger B samt en illustration af opsætningen af et dataloggersystem kan ses i Figur 7.3.



Figur 7.3. Tv.: Illustration af opsætningen af datalogger og nedgravede sensorer. Ø.th.: Billede af datalogger B. Dataloggeren er fastgjort til markeringspinden til højre i billedet, og sensorerne er nedgravet ved den mindre markeringspind til venstre i billedet. I baggrunden ses udstyret til en igangværende fluxmåling. N.th.: Billede af åben datalogger med 5 tilsluttede sensorer.

Sensorerne kan benyttes i mange forskellige jordtyper. Rådata kan enten omregnes vha. standard-kalibreringsdata for den pågældende jordtype (lerjord, pottemuld, mm.) leveret af producenten (Decagon Devices Inc.), eller man kan udføre sin egen kalibrering. For at få et så korrekt resultat som muligt, er der før opsætningen af systemet udført en kalibrering i kompostjord.

Sensorerne blev nedgravet i henholdsvis 10, 20, 40, 60 og 70 cm's dybde. Denne opsætning blev valgt, så den matchede dybderne af gasproberne i de 10 opsatte målesteder til gasprøvetagning. På den måde var det muligt at sammenholde data for gassammensætningen i de forskellige dybder med tilsvarende målinger af temperatur og vandindhold. Sidst i monitoringsforløbet (d. 6. maj 2010) blev der opsat yderligere to sæt gasprober (site A og B) lige ved de to dataloggere med henblik på at bestemme gaskoncentrationsprofiler i områderne omkring dataloggerne.

Dataloggerne blev tappet for data på alle prøvedagene fra d. 18. februar 2010 til d. 3. juni 2010 ved opkobling til en bærbar PC. Datasættet omfatter således perioden fra d. 11. december 2009 - d. 3. juni 2010. Til overførsel af data blev benyttet programmet ECH2O Utility (v.1.12), der er et gratis program

stillet til rådighed af producenten (Decagon Devices Inc.). Dataloggernes hukommelse på 1Mb kan opbevare data fra 36.800 scanninger, svarende til omtrent to års data med den valgte scanningsfrekvens på to scanninger pr. time. Sensorerne har en levetid på ca. 3 år ifølge producenten (Decagon Devices Inc.). Ved udgangen af monitoringsperioden ultimo juni 2010 var tre af de i alt ti sensorer dog ophørt med at registrere data.

7.1.2 Prøvetagning fra gasfordelingslaget

Gasfordelingslaget har til formål at opsamle rågassen fra gasopsamlingsrenderne og fordele den jævnt ud under det overliggende biocover. I hver af de ni sektioner er der monteret et ø60 PE rør, der er tilsluttet det underliggende dræn (gasfordelingslaget). Fra disse rør er der udtaget gasprøver på fem af prøvedagene med henblik på at kunne bestemme gassammensætningen i gasfordelingslaget i de forskellige sektioner. Før prøvetagning er der foretaget en renpumpning af systemet ved tilslutning af en slangepumpe (ukendt fabrikat). Renpumpningstiden var ca. en halv time (pumpeydelse: 7-9,5 L/min). Forsøg med udtag af gasprøver før og under renpumpning viste, at PE-rørene ikke har utætheder samt at gassammensætningen kun ændres minimalt ved renpumpningen (se bilag D). Figur 7.4 viser renpumpningen af et PE-rør før prøvetagning samt et PE-rør påmonteret gasprøveudtagningsudstyr.

Ved feltarbejdet d. 18. februar 2010, der i øvrigt faldt sammen med en snestorm, kunne der ikke udtages gasprøver fra nogen af gasfordelingslagets ni sektioner grundet undertryk i systemet. Der har ikke været problemer med undertryk på nogen af de fem efterfølgende feltture i løbet af foråret 2010, men disse er også alle foretaget på dage, hvor der har været højtryk eller normalt barometertryk. Ved feltturen d. 18. februar 2010 blev der arbejdet under passage af et lavtryk, og barometeret var faldende (vejrdato findes i bilag B).



Figur 7.4. Tv.: Renpumpning af PE-rør før udtag af gasprøver. Th.: PE-rør påmonteret gasprøveudtagningsudstyr.

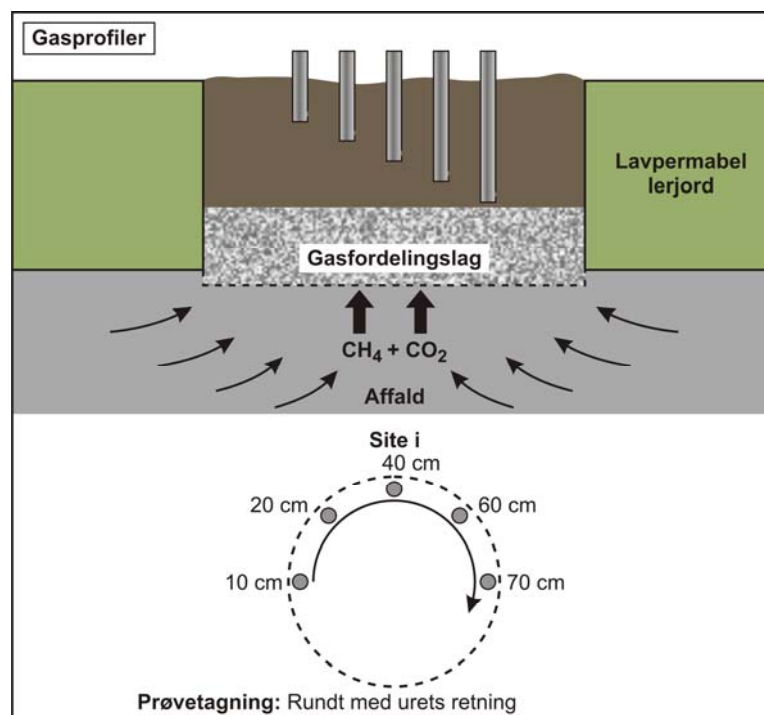
7.1.3 Installering af gasprober i biocoveret

Med henblik på at undersøge gassammensætningen i biocoveret blev der opsat 10 sæt korte gasprober på den ene halvdel af biocoveret. Placeringen kan ses på Figur 7.2. Hvert af de 10 sæt gasprober består af 5 metalrør af varierende længde (Ø/7 mm). Rørene er lukket til i bunden, men ca. 5 cm oppe er der udfraeset tre riller, som jordluften kan strømme ind igennem. Rillerne har en indbyrdes afstand på ca. 1 cm. Proberne er nedrammet således, at der ved montering af gasprøveudtagningsudstyr (se Figur 7.4) kan udtages prøver af jordluften i 10, 20, 40, 60 og 70 cm's dybde. På denne måde fås dybdeprofiler over gassammensætningen ti forskellige steder på biocoveret.

Ved prøvetagningen starter man ved hvert site med den korteste probe (10 cm) og slutter med at udtage gasprøver fra den dybeste (70 cm). Før udtag af gasprøver renpumpes hver enkelt probe ved påmontering af en 100 ml sprøjte på prøvetagningsudstyret. Renpumpningen svarede til mindst to gange den enkelte probes dødvolume. Gasprøverne udtages med 5 ml sprøjter via et septum i gasprøvetagningsudstyret. Herefter overføres de til vakuerede prøvegase og analyseres slutteligt i laboratoriet på en MikroGC for indhold af N_2 , O_2 , CO_2 og CH_4 . Efter prøvetagning forsegles proberne med tape. Figur 7.5 viser en illustration af et gasprobesæt i biocoveret samt fremgangsmåden ved prøvetagningen.

Der er udtaget gasprøver fra de 10 gasprobesæt på biocoveret 8 gange i løbet af monitoringsperioden. Første gang d. 6. oktober 2009 og sidste gang d. 3. juni 2010. Som nævnt i afsnit 7.1.1 blev der sidst i monitoringsforløbet herudover opsat yderligere to sæt gasprober i tilknytning til de to dataloggere (site A og B). Dette blev gjort på baggrund af, at temperaturprofilerne viste sig at være meget forskellige de to steder. En større metanoxidation i området omkring den ene datalogger kunne være forklaringen, og derfor blev det besluttet at opsætte gasprobesættene, så man kunne få et billede af gasprofilerne i områderne omkring dataloggerne og korrelere temperaturdata med gassammensætningen. Der er udtaget gasprøver fra disse to gasprobesæt ved feltarbejdet d. 6. maj og d. 3. juni 2010.

I visse tilfælde var der problemer med at udtage gasprøver fra de dybeste af gasproberne (60 og 70 cm). Dette skyldes sandsynligvis et højt vandindhold i komposten. Ved et højt vandindhold er en stor del af jordens porer vandfyldte, hvilket hindrer gasgennemstrømningen, og gør det svært at udtage gasprøver.



Figur 7.5. Illustration af et gasprobesæt i biocoveret. Rørenes forskellige længde gør, at man kan udtage gasprøver fra 5 dybder i biocoveret. Derved fås en gasprofil for det pågældende område. Nederst i figuren ses fremgangsmåden ved prøvetagning.

7.1.4 Udførsel af metan-screeninger på overfladen af biocoveret

Biocoveret på etape 0 er blevet screenet helt eller delvist flere gange i løbet af monitoringsperioden (se tabel 7.1). Dette er gjort med henblik på at få et overordnet billede af emissionsmønstret. Screeningerne blev udført med en håndholdt Photovac MicroFID analyzer, der kan måle metan i koncentrationsintervallet fra 0,5 til 2500 ppmv. FID-analyzeren blev også benyttet i de indledende undersøgelser. En metodebeskrivelse kan findes i afsnit 4.1.1.

FID-screeningerne af overfladen er kvalitative og giver et billede af emissionsmønstret på det pågældende screeningstidspunkt. Faktorer som vind og vegetation på overfladen kan influere målearbejdet. Kraftig vind kan eksempelvis besværliggøre målearbejdet, når man skal forsøge at lokalisere emissionsområder (hotspots) på overfladen. Biocoveret på toppen af etape 0 ligger et stykke over havniveau, og er derfor meget vindpåvirket. Dette medfører, at luften ved jordoverfladen er i bevægelse, hvilket gør det sværere

at fastlægge placeringen af eventuelle hotspots. Kraftig vind kan medføre fejlagtige registreringer af områder med forhøjende metanemissioner, hvis der måles nedvinds et emissionsområde.

Ved udførelsen af en screening måler man med FID-analyzeren lige over jordoverfladen. Tæt bevoksning kan derfor besværliggøre arbejdet. Vegetationen var ved målingen d. 6. maj 2010 lige spiret frem, men ved den sidste måling d. 3. juni 2010 havde bevoksningen visse steder nået en højde af ½-1 meter, hvilket besværliggjorte screeningen på den sidste måledag.

Den usædvanligt lange og kolde vinter 2009/2010 medførte visse vanskeligheder ift. monitoringsarbejdet. På den første berammede måledag i monitoringskampagnen i 2010 (d. 18. februar) måtte målearbejdet aflyses først på eftermiddagen, pga. af hård frost og snestorm.

7.1.5 Udførsel af metanemissionsmålinger på overfladen af biocoveret

Med henblik på at undersøge overfladeemissionen af metan og kuldioxid er der igennem hele monitoringsperioden blevet udført fluxkammermålinger på overfladen af biocoveret. Metoden er tidligere blevet benyttet under arbejdet med at fastlægge metanemissionen på etape 0 før etableringen af biocoveret ("baseline study"). En udførlig metodebeskrivelse kan derfor findes i afsnit 4.1.2.

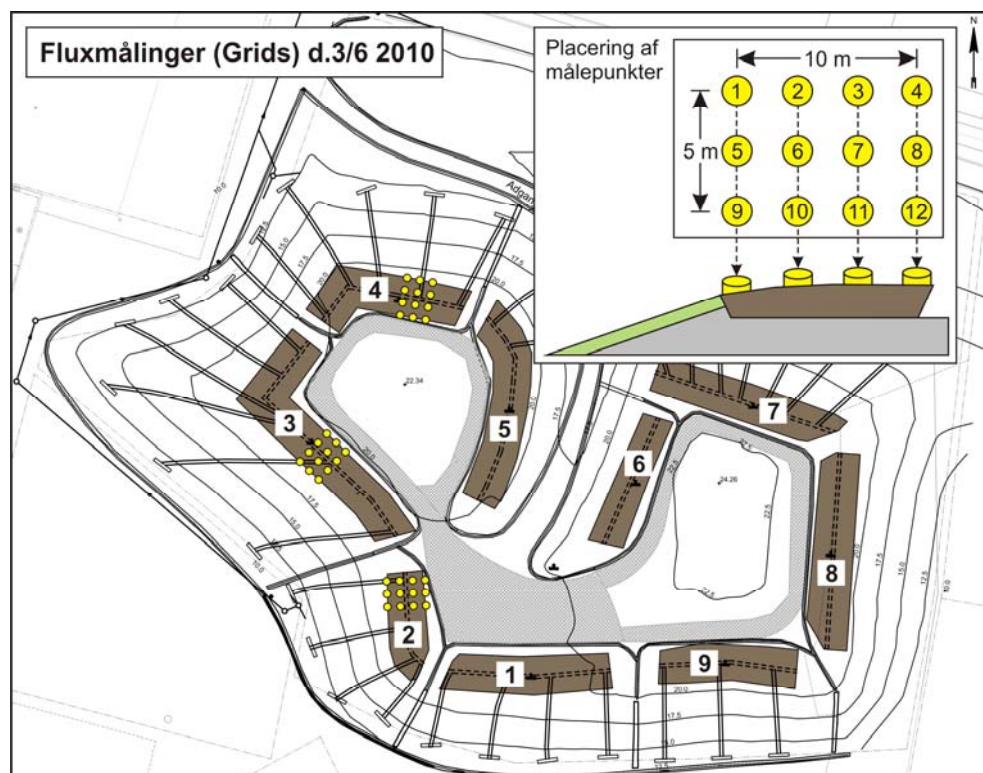
Der er på alle prøvedagene udført fluxmålinger ved de 10 målestationer med gasprober. Da der blev benyttet et mobilt fluxkammer, varierer placeringen af kammeret ved de respektive sites en smule fra gang til gang. Målingerne er dog foretaget i umiddelbar nærhed af hver målestation. Efter opsætningen af de to gasprobesæt ved dataloggerne (site A og B) er der også udført to fluxmålinger her (d. 6. maj og d. 3. juni 2010).

Udover fluxmålinger i tilknytning til gasproberne er der foretaget mere omfattende fluxmålinger ved feltarbejdet d. 6. maj og d. 3. juni 2010. Ved feltarbejdet d. 6. maj 2010 blev der foretaget nogle ekstra fluxmålinger i tilknytning til målingerne ved site 2, site 9 og site A. Der blev målt syv gange med en meters mellemrum på en strækning fra site 2 hen til overgangen mellem biocoveret og skrænten og ned ad skrænten. Et billede fra udførelsen af måleserien kan ses i Figur 7.6. Målingerne blev foretaget, da FID-screeningen d. 7. april havde vist, at der var hotspots ved overgangen imellem biocoveret og skrænten og forhøjede metankoncentrationer i et område, der strakte sig 6-7,5 meter ned ad skrænten. Fluxmålingerne skulle derfor be- eller afkræfte, om der var forhøjede emissioner i overgangen imellem biocoveret og skrænten, samt om der blev emitteret metan fra de lerdækkede skrænter. Målingerne ved site 9 og site A var enkeltmålinger, hvor fluxkammeret blev placeret over to hotspots lokaliseret ved den forudgående FID-screening af overfladen.

Ved feltarbejdet d. 3. juni 2010 blev der foretaget fluxmålinger i grids på tre udvalgte steder af biocoveret. Formålet var dels at kunne give et mål for den samlede emission af metan og kuldioxid fra hele biocoveret, og dels at undersøge om fluxene var ensartede i de tre områder. Derudover skulle målingerne også være med til at belyse, om der var forskelle i emissionen på tværs af biocoveret. I hver af de tre sektioner blev der målt i et 3 x 4 gridsystem, hvilket giver 12 målinger pr. grid. Figur 7.7 illustrerer, hvordan de tre måleserier er foretaget samt deres placering på biocoveret.



Figur 7.6. Fluxmåling ved site 2 d. 6. maj 2010. I denne måleserie blev der målt med en meters afstand startende ved site 2 og sluttende 5 meter nede ad skrænten. På billedet ses den første måling, hvor fluxkammeret er placeret lige ved site 2, samt et målebånd fastgjort til en af site 2's gasprober.



Figur 7.7. Placeringen af de tre gridmålinger på biocoveret samt en illustration af placeringen af målepunkter i de enkelte grids.

Valget af tre sæt gridmålinger i konfigurationen 3 x 4 blev foretaget, da det i forhold til den tid, der var til rådighed, blev anset for at være den mest optimale løsning. Et valg af et større grid, eksempelvis 4 x 5, ville kun have givet tid til to måleserier, mens valget af en mindre gridkonfiguration på 2 x 4 ikke ville have dækket et stort nok areal til at kunne anses for at være repræsentativt for de enkelte områder.

7.1.6 Undersøgelse af metanoxidation

Laboratorieforsøg med kompostprøver fra Biocover:

Ved feltarbejdet d. 18. februar 2010 blev der udtaget kompostprøver fra biocoveret ved site 7 og 9 til batchforsøg i laboratoriet. Prøverne blev udtaget fra seks forskellige dybder med henblik på at undersøge metanoxideringsraten som funktion af dybden. Herudover skulle det indsamlede materiale også bruges til at forsøge at bestemme metanoxideringsprocessens temperaturafhængighed. Prøverne blev udtaget vha. et håndbor i 5-6 forskellige dybder ned til 60-70 cm's dybde. Kompostprøverne blev opbevaret i plastikposer ved en temperatur på 10° C, indtil forsøgene blev udført.

Til batchforsøgene, hvor man skulle undersøge metanoxideringsraten som funktion af dybden, blev 30 gram kompost fra de forskellige dybder afvejet og overført til 320 ml infusionsflasker, hvorefter flaskerne blev forseglet med gummiprop. Alle forsøg blev udført som duplikater. Endvidere indgik to kontroller uden tilsat kompost også i forsøgsopsætningen. For at undgå en eventuel lagfase blev 40 ml ren metan tilsat til alle flaskerne inden selve forsøgets start. Flaskerne blev herefter opbevaret ved stuetemperatur. Efter ca. 4 dage blev flaskerne åbnet og luftet, hvorefter de igen blev forseglet. Med en sprøjte blev der derpå udtaget 100 ml luft og tilsat 60 ml ren ilt og 40 ml ren metan. Gassammensætningen i flaskerne blev i løbet af forsøget målt ved udtag af gasprøver (5 ml) og efterfølgende analyse på en gaschromatograf (Micro-GC). Der blev udtaget gasprøver til analyse umiddelbart efter de 40 ml metan var tilsat, og herefter hver 3. eller 5. time, indtil der ikke længere kunne måles metan i prøverne.

For at undersøge temperaturens indflydelse på bakteriernes oxidation af metan, blev oxidationen undersøgt ved en række forskellige temperaturer: 4, 10, 20, 25, 30, 37 og 52° C. Til forsøget blev brugt en kompostprøve, som bestod af en blanding af kompost fra alle dybderne ved site 9. Kompost herfra blev valgt, da det tidligere forsøg havde vist, at oxideringsraterne på dette sted var højere end ved site 7. Kompostprøverne, der blev benyttet til temperaturforsøget, havde ikke tidligere været benyttet til forsøg. Forsøgene blev udført som de foregående batchforsøg, men efter at have tilsat metan blev flaskerne inkuberet ved de forskellige temperaturer, hvorfra de efterfølgende gasprøver blev udtaget ca. hver 3. time. For at opnå de forskellige temperaturer blev benyttet kølerum og varmeskabe. Efter dette forsøg blev der udført yderligere et forsøg med henblik på at bestemme den øvre temperaturgrænse for metanoxidation i biocoverkomposten. Forsøgsopsætningen var den samme som i det tidligere forsøg, og der blev benyttet samme kompostblanding. Forsøget blev udført i duplikat, og infusionsflaskerne blev inkuberet ved 55, 60 og 70° C.

7.1.7 Måling af totalemission

I løbet af monitoringsperioden er den totale metanemission fra deponiet blevet målt tre gange ved brug af dynamisk fane metoden (dynamic plume method) (Galle et al., 2001). Metoden er tidligere blevet benyttet til fastlæggelse af metanemissionen fra deponiet før etablering af biocoveret ("Baseline study"), ligesom den også blev benyttet ved de to totalmålinger foretaget ved færdiggørelsen af biocoversystemet. En udførlig metodebeskrivelse kan findes i afsnit 4.1.4.

Totalmålingerne i monitoringsperioden er udført d. 9. april, d. 25. maj og d. 14. juni 2010. Det var desværre ikke muligt at gennemføre totalmålinger i perioden fra december 2009 og frem til april 2010 pga. vintervejret, da vejen langs vandet, hvor målingerne udføres, ikke var kørbart. Under alle tre målekampanjer var der stabile vejrforhold, med en vindretning fra vest således, at det var muligt at anvende jordvejen langs stranden øst for deponiet. Under sådanne vindforhold er det muligt at måle tre metanfaner fra deponiet; en fra komposteringsanlægget, en fra etape 0 og en fra etaperne 1.1, 1.2, og 1.3. Dog var det ikke muligt at opnå en tilstrækkelig god adskillelse af metanfanen fra etaperne 1.1, 1.2 og 1.3 og metanfanen fra etape 0 til at kunne foretage en brugbar kvantificering af de enkelte områders metanemissioner. I afsnit 7.8 er opdelingen af de målte totalemissioner derfor beregnet på baggrund af forholdet imellem modelberegnete gasproduktioner for etaperne. Disse modelberegninger er udført ved projektets afslutning med den hollandske Afvalzorg-multi-fase-model, og de er udført, da det i løbet af projektet er blevet klart, at de indledende modelberegninger, beskrevet i afsnit 3, ikke var præcise nok. Modellen, der er udviklet af det hollandske affaldsselskab Afvalzorg, vurderes at være den mest anvendelige model, da hollandske depoter er sammenlignelige med danske affaldsdepoter, hvad angår størrelse, udformning (f.eks. deponeringsdybde) og affaldssammensætning. Modellen er, på basis af danske

erfaringer, blevet valgt som den foretrukne model til beregning af gasproduktion i forbindelse med indberetning af emissioner til PRTR-systemet for affaldsdeponeringsanlæg i DK. Resultaterne af de nye modelberegninger fremgår af bilag I.

Ved totalmålingen d. 9. april 2010 blev metanemissionen fra deponiet bestemt ved 11 gennemkørsler af metanfanen. Metanemissionen fra komposteringsarealet blev ikke målt ved denne lejlighed. Der blev placeret to sporstofflasker på etape 1 og en enkelt på etape 0. Placeringen af sporstofflaskerne var den samme som ved målingen d. 25. september 2009 (se Figur 6.8). Frigivelsesraten af sporstof (N_2O) var for alle tre flasker $2,59 \pm 0,04$ kg/t.

Ved totalmålingen d. 25.-26. maj 2010 blev metanemissionen fra deponiet bestemt ved 8 gennemkørsler af metanfanen herfra, mens metanfanen fra komposteringsarealet blev gennemkørt 4 gange. Målingerne blev foretaget i tidsrummet 23:30 til 00:45. Til bestemmelse af metanemissionen fra etape 0 og 1 blev placeret to sporstofflasker på etape 1 og en enkelt på etape 0. Alle med en frigivelsesrate af sporstof (N_2O) på $2,38 \pm 0,01$ kg/t. Placeringen af sporstofflaskerne var den samme som ved målingen d. 9. april 2010. Til bestemmelse af metanemissionen fra komposteringsarealet blev benyttet en enkelt sporstofflaske (N_2O) centralt placeret på kompostringsanlægget med en frigivelsesrate på 2,29 kg/t.

Ved totalmålingen d. 14. juni 2010 blev metanemissionen fra deponiet bestemt ved 11 gennemkørsler af metanfanen. Emissionen fra komposteringsarealet blev ikke bestemt ved denne målekampagne. Til bestemmelse af metanemissionen fra etape 0 og 1 blev placeret to sporstofflasker på etape 1 og en enkelt på etape 0. Alle med en frigivelsesrate af sporstof (N_2O) på $2,37 \pm 0,14$ kg/t. Placeringen af sporstofflaskerne var den samme som ved de to foregående målekampagner.

Et samlet overblik over data fra de tre målekampagner kan ses i Tabel 7.2.

Dato	Tid	Antal af kørsler gennem metanfanen fra deponiet	Metanemission	Vind	Barometrisk tryk og lufttemperatur
09.04.2010	10:17:38-12:14:43	11	$9,1 \pm 1,2$ kg/t	3,4 m/s 313 deg	1025 mbar 10° C
25.05.2010	23:33:55-00:44:15	8	$7,0 \pm 1,0$ kg/t	5,5 m/s 280 deg	1009 mbar 6° C
14.06.2010	03:45:35-06:33:45	11	$6,1 \pm 0,7$ kg/t	1,5 m/s 298 deg	1015 mbar 8° C
Gennemsnit		(total 30)	$7,4 \pm 1,0$ kg/t		

Tabel 7.2. Oversigt over totalmålinger udført på Klintholm losseplads i 2010.

7.2 Temperatur og vandindhold i kompostlaget

Tidligere batchforsøg med forskellige afdækningsjorder fra en lang række lossepladser har påvist, at optimum for de tilstedeværende metanotrofe bakterier ligger i intervallet 15 til 38° C. I størstedelen af studierne lå optimummet omkring 30° C (Scheutz et al., 2009a). Da temperaturene i Skandinavien og i store dele af verden i vinterhalvåret ligger tættere på frysepunktet end på 30° C, var det spørgsmålet, om et biocoversystem overhovedet kunne fungere på disse breddegrader. Der er dog tre processer, der medvirker til at øge temperaturen i et biocover:

1. Rågassen vil formentlig være varmere end omgivelserne, hvilket skyldes varmeproduktion i affaldet i forbindelse med den mikrobielle omsætning af affaldet.
2. Komposten vil delvist omsættes ved forbrug af ilt, hvilket vil producere varme på samme måde, som der sker i forbindelse med komposteringen i miler. Er komposten ikke stabil og færdigmodnet ved ilægning, vil komposten efterkompostere i selve biocoveret.
3. Metanoxidationen producerer selv varme. Det højeste varmebidrag fra denne proces vil forventes at ske i den zone, hvor metanoxidationen foregår.

Da varmen i alle tre tilfælde skyldes mikrobiologiske processer, vil faktorer, der influerer på den mikrobielle omsætning, så som eksempelvis vandindholdet, også have indflydelse på varmeproduktionen.

Kompostens termiske ledningsevne vil herudover have betydning for, hvor god komposten er til at holde på varmen.

Grafer, der viser temperatur og vandindhold i monitoringsperioden for de to dataloggere, kan ses i Figur 7.8 og Figur 7.9. Temperaturkurverne for de to dataloggere ser meget forskellige ud. Generelt gælder dog, at udviklingen i temperaturen i biocoveret følger udviklingen i atmosfæretemperaturen. Dette gælder særligt for de øverste lag (10 til 20 cm's dybde), hvorefter temperaturen stiger med dybden. Der er dog registreret væsentlig højere temperaturer omkring datalogger A end i komposten ved B.

For datalogger A startede temperaturen med at stige i alle fem dybder de første 2-3 uger efter nedgravning af sensorerne i december måned 2009. Dette oven i købet i samme periode som vinteren satte ind, og den atmosfæriske temperatur faldt til mellem 5 og -10° C. Sensoren i 10 cm's dybde registrerede i denne periode temperaturer omkring 10 til 15° C, mens sensorerne i 60 og 70 cm's dybde nåede helt op over 40° C. Efterfølgende stabiliseredes temperaturen i biocoveret i løbet af de første måneder af 2010 og udsvingene blev mindre. For de tre dybe sensorer faldt temperaturen til et næsten sammenfaldende leje omkring 30 til 35° C, mens de to sensorer i de øverste kompostlag lå omkring 10 til 15° C. Efter vinterens afslutning i midten af marts 2010 ses en tydelig temperaturstigning i de øverste jordlag, hvor man også tydeligt kan aflæse store døgnvariationer. Ultimo juni lå temperaturen omkring 20 til 22° C i de øverste kompostlag. Sensorerne i 40 og 60 cm's dybde stoppede med at registrere data i slutningen af april måned, men i 70 cm's dybde ses en svagt stigende tendens fra midten af maj måned. Ultimo juni 2010 lå temperaturen i denne del af komposten omkring 28° C.

I komposten omkring datalogger B har temperaturerne igennem hele monitoringsperioden været væsentligt lavere. Der ses ganske vist en svag temperaturstigning for de to dybest placerede sensorer lige efter nedgravningen, akkurat som det også ses for datalogger A, men stigningen er meget mere behersket, og den ændrer sig hurtigt til et fald, da den atmosfæriske temperatur falder fra midten af december 2009. Efterfølgende ses nogle meget stabile temperaturkurver i løbet af vintermånederne. I 70 cm's dybde er temperaturen omkring 10 til 12° C, og i 10 cm's dybde omkring frysepunktet. Fra omkring midten af marts måned, hvor den atmosfæriske temperatur begyndte at stige, ses en kraftig påvirkning af temperaturen i komposten. Der ses således en jævnt stigende temperaturkurve i alle fem dybder med de største døgnudsving for sensorerne i de øverste kompostlag. Sensoren i 20 cm's dybde stoppede med at registrere data i slutningen af marts måned, men ultimo juni 2010 lå temperaturen for de andre fire sensorer i intervallet 16 til 18° C.

De store temperaturforskelle imellem områderne, hvor de to dataloggere er opsat, kan muligvis skyldes, at der foregår metanoxidation i komposten omkring datalogger A. Forskelle i sammensætningen af komposten, kompaktering, vandindhold, basalrespiration og gennemstrømning af varm rågas nedefra kan dog også forårsage de observerede temperaturforskelle.

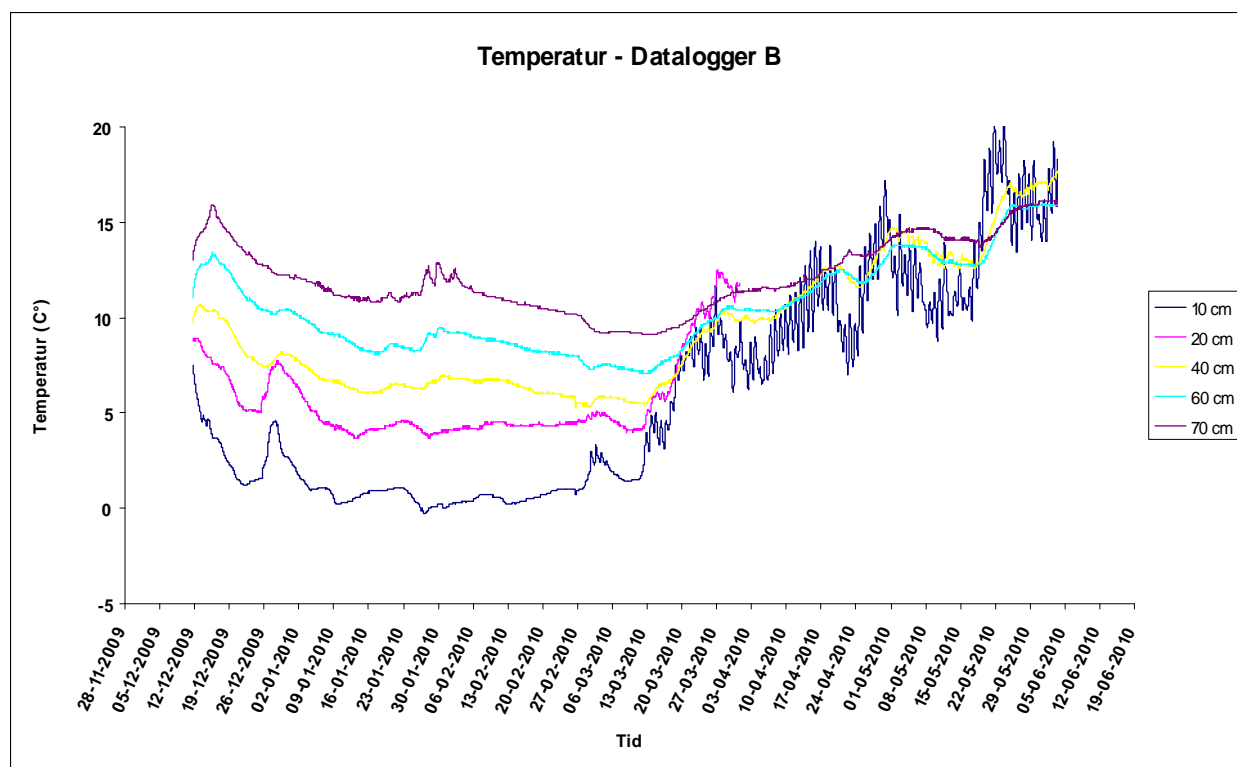
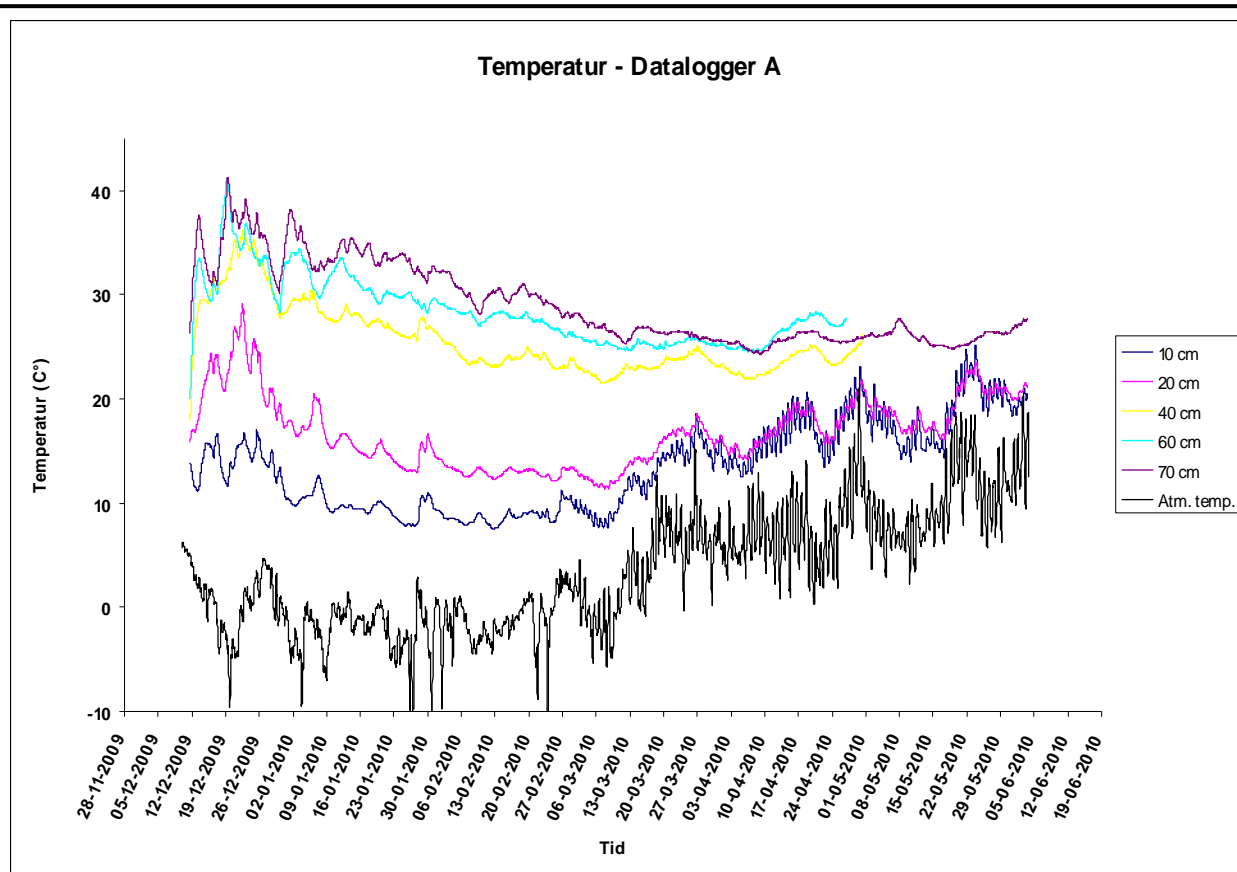
Figur 7.9 viser vandindholdet i komposten omkring de to dataloggere samt nedbørsdata fra vejrstationen på lossepladsen. Som det fremgår, så stiger kompostens vandindhold med dybden. Dette er forventet, da der både ved mikroorganismernes omsætning af komposten samt ved eventuel metanoxidation produceres vand. Herudover sker der fordampning fra det øverste kompostlag via evapotranspiration ligesom en øget kompaktering af de nederste kompostlag giver en større vandtilbageholdelseskapacitet.

Graferne over vandindholdet for datalogger A og B ligner hinanden, men interessant nok er vandindholdet i 10, 20 og 40 cm's dybde højere for A end for B. Som beskrevet i afsnit 7.4 foregår hovedparten af metanoxidationen typisk i de øverste jordlag, hvor der både er tilstrækkelig ilt og metan. Forskellene kunne derfor være en indikation af, at der sker metanoxidation i komposten omkring datalogger A.

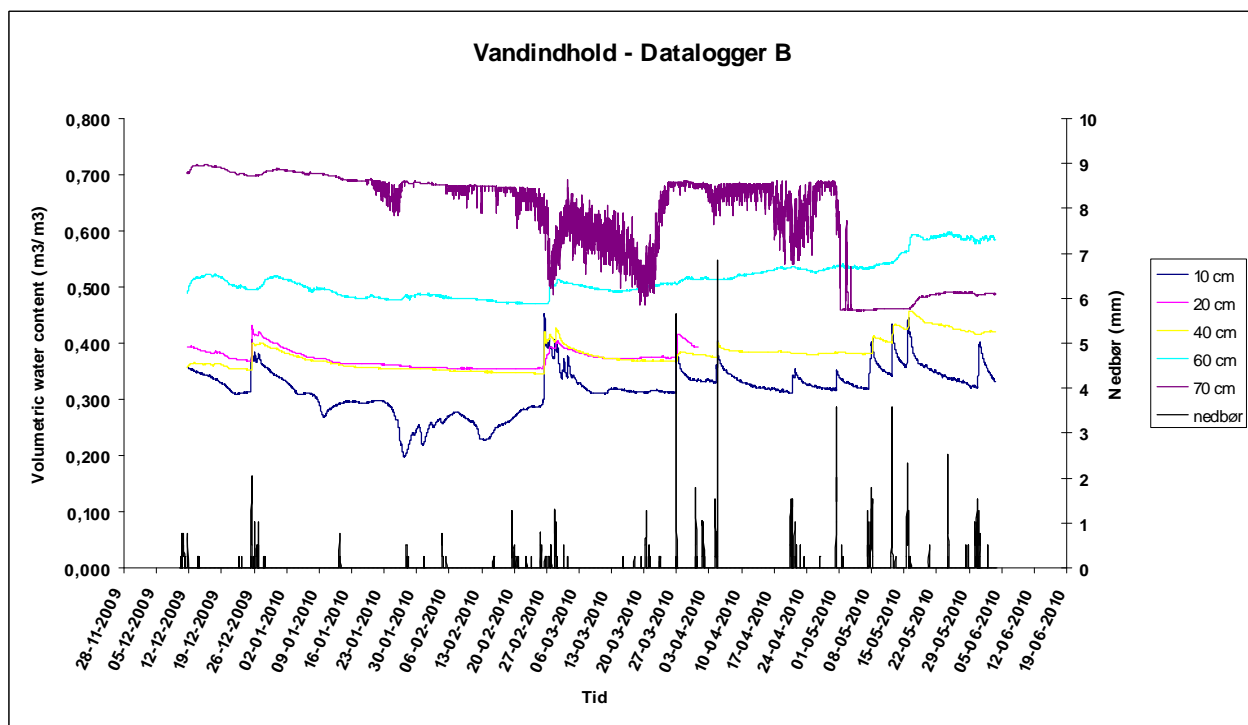
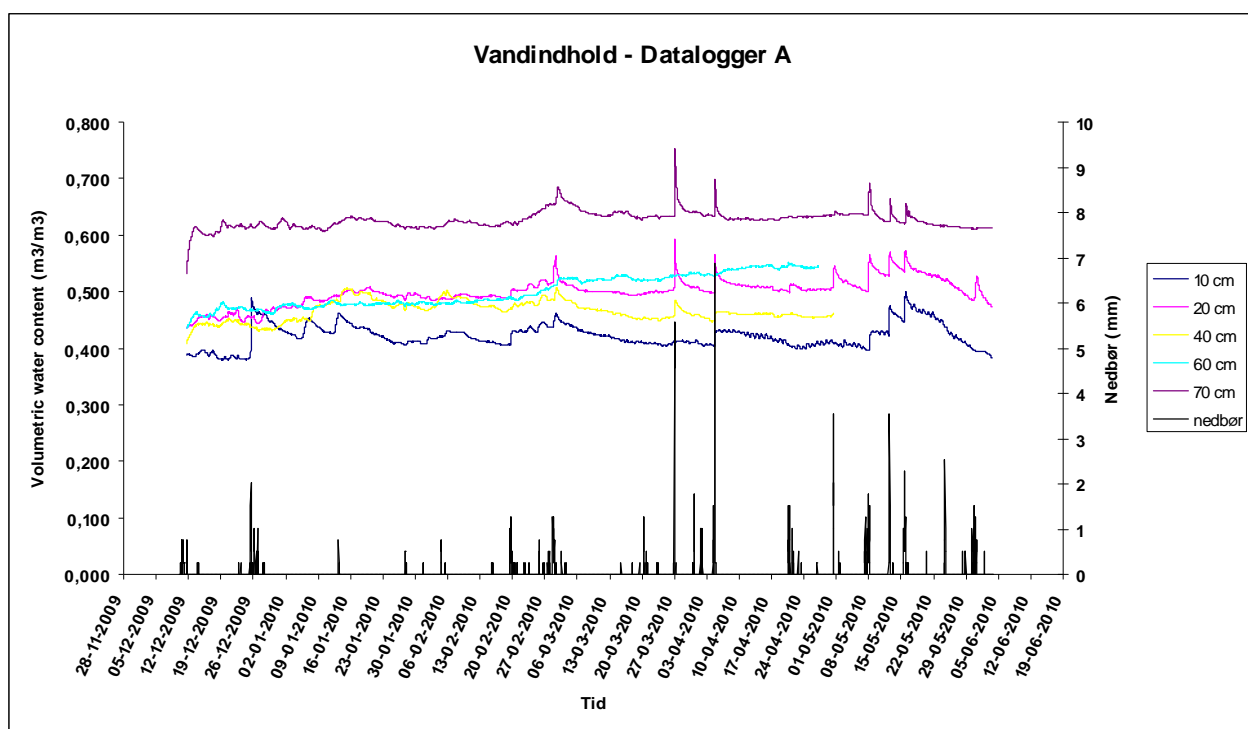
Perioder med nedbør giver anledning til højere vandindhold i komposten, hvilket dog ret hurtigt stabiliseres igen. Generelt vurderes vandindholdet i komposten som værende relativt højt. Dette kan muligvis også være årsagen til, at prøvetagning fra de dybeste prober i de ti opsatte gasprobesæt i enkelte tilfælde ikke var mulig. Ved højt vandindhold er en stor del af kompostens pore-volumen vandfyldt, og gaspermeabiliteten nedsættes. Udover påvirkning af prøvetagning fra gasproberne, kan dette have en negativ indvirkning på selve effektiviteten af biocoversystemet, idet redoxforholdene flyttes i retning af anaerobe forhold, og opstrømningen af rågas nedefra forringes. Dette medfører forringede leveforhold for de metanotrofe bakterier.

De kraftige fluktationer for datalogger B's sensor i 70 cm's dybde skyldes sandsynligvis, at komposten har sat sig. Sensoren er nedgravet i komposten lige over gasfordelingslaget, og hvis komposten efterfølgende har sat sig i dette område, er det muligt, at sensoren ikke længere er helt omsluttet af kompost, men delvist sidder i gasfordelingslaget. Sensorens målinger af vandindholdet er mediespecifik, og derfor vil ovenstående situation give forkerte målinger. De stabile temperaturmålinger fra sensoren understøtter i øvrigt, at den fungerer korrekt. For de tre sensorer, der er holdt op med at fungere i

løbet af monitoringsperioden, har både registreringen af temperatur og vandindhold således enten været fejlagtig eller er ophørt samtidig.



Figur 7.8. Temperaturdata fra de to dataloggere for perioden december 2009 – juni 2010. En kurve over den atmosfæriske temperatur er indtegnet i grafen for datalogger A. Bemærk forskellene i temperaturniveauet imellem de to y-akser.



Figur 7.9. Data for vandindholdet i biocoveret for perioden december 2009 – juni 2010. Den sekundære y-akse viser nedbørmængden. Data fra begge dataloggere viser stigende vandindhold med dybden.

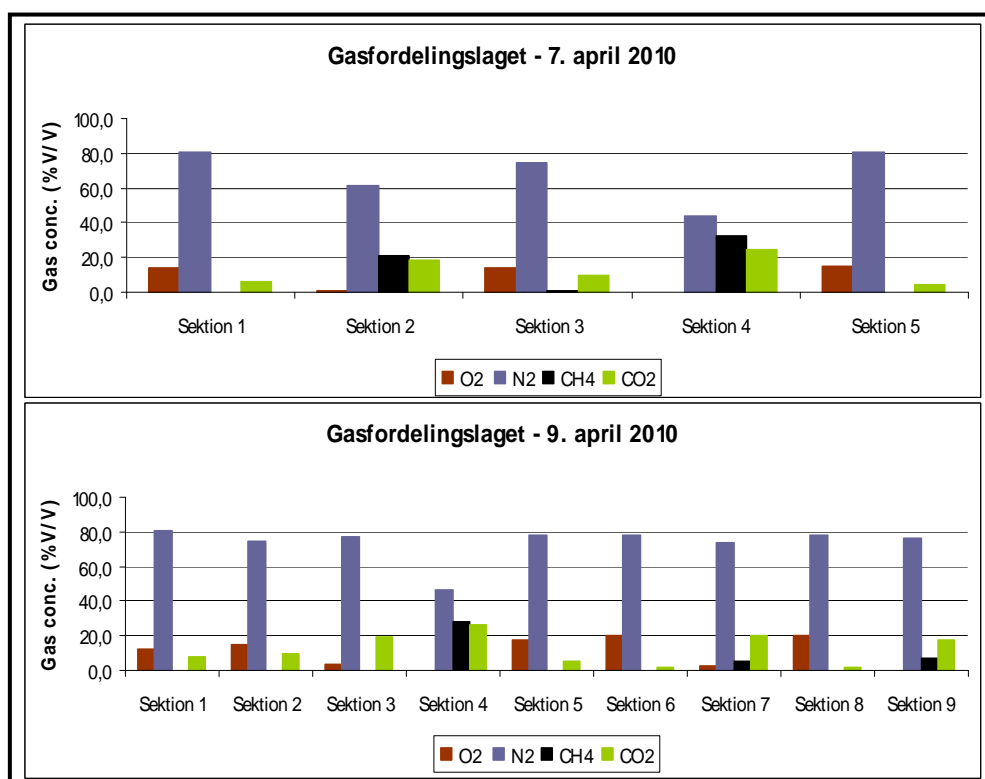
7.3 Gassammensætning i gasfordelingslaget

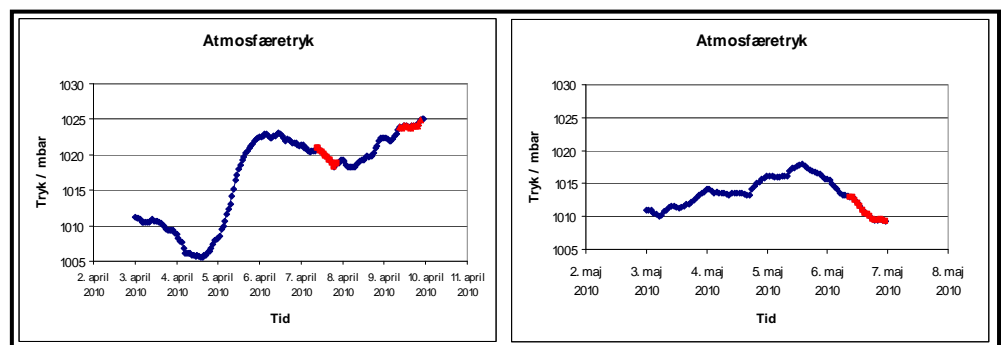
Figur 7.10 viser gassammensætningen i gasfordelingslaget under biocoveret på tre forskellige dage. Som det ses, er der i alle sektioner et højt indhold af nitrogen og visse steder også en del ilt. Dette indikerer, at der strømmer atmosfærisk luft ind i systemet. Da der er tale om et lukket system uden perkolatbrønde eller anden rørføring, hvor der er mulighed for udveksling af gas med atmosfæren, formodes det, at opblandingen af rågas med atmosfærisk luft, sker ved periodiske indstrømninger af atmosfærisk luft igennem selve biocoveret. En sådan situation vil kunne forekomme i perioder med stigende atmosfærisk tryk, eksempelvis ved passage af et højtryk. Omvendt vil et faldende barometertryk medføre, at der "suges" mere gas ud af affaldet og op igennem biocoversystemet end normalt. Ved bratte atmosfæriske trykfald er det således også muligt, at gennemstrømningen af metan igennem biocoveret bliver så højt, at det overstiger biocoverets metanoxideringskapacitet. Ligeledes vil emissionen via hotspots (sprækker mm.) forventes at forøges under perioder med faldende barometertryk (Pedersen et al., 2011a, 2011b).

En alternativ forklaring på indstrømningen af atmosfærisk luft kan være, at etableringen af områder med høj metanoxidation påvirker gasflowet i biocoveret. Ved de metanotrofe bakteriers omsætning af metan sker der en volumenreduktion, idet der forbruges 1 mol CH_4 og 2 mol O_2 og kun produceres 1 mol CO_2 . Teoretisk set er det derfor muligt, at områder med høj aktivitet af metanotrofe bakterier kan generere et lokalt undertryk. Området vil "suge" både rågas og atmosfærisk luft til sig, og dette kan så igen medføre, at der strømmer atmosfærisk luft ind i biocoveret i nærliggende områder uden metanoxidation. Processen er selvforstærkende og kan muligvis føre til en opdeling af biocoveret i områder med begrænset metanoxidation og områder med høj metanoxidation.

Ved sammenligning af data fra målinger foretaget under hhv. faldende og stigende barometertryk ses det tydeligt, at atmosfæretrykket har stor indflydelse på indholdet af rågas i gasfordelingslaget. Eksempelvis kan man se på målingerne af gassammensætningen i gasfordelingslagets forskellige sektioner på tre forskellige dage vist i Figur 7.10. Ved at sammenholde disse målinger med målinger af atmosfæretrykket vist i Figur 7.11 fremgår det tydeligt, at indholdet af rågas (metan) er højest under faldende trykforhold. Vejrdato og samtlige resultater fra målingerne af gassammensætningen i gasfordelingslaget kan ses i bilag B og D.

Udover variationerne i niveauerne af metan og kuldioxid de enkelte prøvedage imellem, ses der også meget store forskelle i gassammensætningen imellem de enkelte sektioner. I sektion 1, 5 og 8 er der således ikke målt metan i prøverne på nogen af prøvedagene, mens sektion 4 konsekvent har udvist et højt indhold af både metan og kuldioxid. Sektionerne 2, 7 og 9 indeholder også typisk en del rågas, men koncentrationerne er lavere end i sektion 4. Gennemsnitskoncentrationer og tilhørende standardafvigelser fremgår af Tabel 7.3. Forskellene i indholdet af rågas imellem de enkelte sektioner kan skyldes, at gasproduktionen i det underliggende affald varierer, samt at effektiviteten af opsamlings af rågas via de udgravede gasopsamlingsrender er afhængig af, hvor god kontakt den enkelte rende har med affaldet. Derudover er affaldet både lagdelt og meget heterogent i sin sammensætning. Transporten af rågas ud af affaldet kan derfor ikke formodes at være ensartet for hele etappen.





Figur 7.11. Atmosfæretrykket i dagene omkring prøvetagningerne vist i Figur 7.10. Prøvetagningstidspunkterne er markeret med rødt.

Sektion	% v/v			
	O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂
1	10,1 ± 4,0	80,8 ± 1,4	0,0	12,4 ± 8,0
2	4,0 ± 6,4	66,9 ± 7,1	13,4 ± 10,0	17,5 ± 4,9
3	8,3 ± 6,9	76,4 ± 1,6	2,1 ± 2,6	14,6 ± 4,7
4	0,4 ± 0,5	46,9 ± 8,8	28,2 ± 7,3	25,9 ± 1,6
5	17,5 ± 1,7	78,4 ± 1,6	0,1 ± 0,1	4,8 ± 0,3
6	18,4 ± 1,7	78,5 ± 0,7	0,0	3,6 ± 1,9
7	1,8 ± 1,1	71,4 ± 5,3	7,3 ± 4,4	20,6 ± 0,7
8	18,4 ± 1,8	78,2 ± 0,5	0,2 ± 0,2	3,8 ± 2,3
9	0,8 ± 1,7	72,0 ± 0,9	8,5 ± 0,2	19,6 ± 2,4

Tabel 7.3. Gennemsnitlige gaskoncentrationer i gasfordelingslagets ni sektioner. Som det fremgår, er indholdet af metan højest i sektionerne 2, 4, 7 og 9.

Der er ikke målt metan i nogen af gasprøverne fra sektion 1, men på to af prøvetagningstidspunkterne er der målt relativt høje niveauer af kuldioxid (14,6 og 25,5 %), hvilket kunne indikere, at der sker metanoxidation i gasfordelingslaget. Der er på alle prøvetidspunkter aerobe forhold i gasfordelingslaget i denne sektion. Ilt-koncentrationen svinger således imellem 4,5 %, hvor den er lavest, og op til 13,8 %. Pga. de aerobe forhold, er det overvejende sandsynligt, at en population af metanotrofe bakterier kan opretholdes i selve gasfordelingslaget. Hvis dette er tilfældet, betyder det, at en del af omsætningen af metan i denne sektion (og i andre sektioner med relativt stabile aerobe forhold) foregår i gasfordelingslaget i stedet for i den overliggende biocoverkompost. Hvorvidt oxidationen foregår det ene eller det andet sted, har naturligvis ikke nogen betydning for effektiviteten af biocoversystemet, men med henblik på at forøge kendskabet til funktionen af et fuldskala biocoversystem er det oplagt at undersøge dette nærmere i det opfølgende monitoringsarbejde.

I sektion 4 er der målt høje koncentrationer af metan og kuldioxid alle fire gange, der er blevet udtaget prøver. Indholdet af metan og kuldioxid lå hhv. i intervallet 17,9 til 34,5 % og 24,5 til 28,0 %. Bortset fra et beskedent iltindhold på ca. 1,2 % målt d. 3. juni 2010 er der ved de tre andre gasprøvetagninger fra gasfordelingslaget i sektion 4 ikke registreret ilt. Det er oplagt, at ilten i den atmosfæriske luft, der formodes at strømme ind i systemet under stigende trykforhold, i et vist omfang forbruges af metanotrofe bakterier, men hovedparten af sektionens metanoxidation foregår med stor sandsynligvis i biocoveret. Her er der både et højere og mere stabilt indhold af ilt, og samtidig fødes bakterierne med rigelige mængder af metan nedefra. Der eksisterer dog metanotrofe bakterier, der er adapteret til lave ilt-niveauer og høje koncentrationer af metan, så det er muligt, at en del af metanoxidationen foregår i gasfordelingslaget.

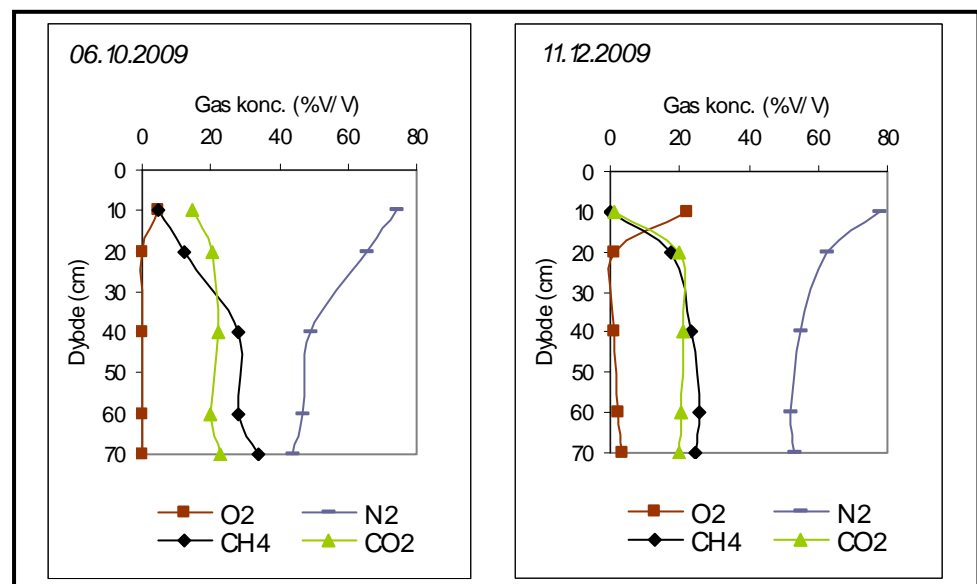
7.4 Gassammensætning over dybden i biocoveret

I dette afsnit gennemgås resultaterne af gasprøverne fra de 12 gasprobesæt, der er opsat i sektion 1-5. Placeringen af sektioner og gasprobesæt kan til orientering ses i Figur 7.1 og Figur 7.2, mens samtlige gaskoncentrationsprofiler kan ses i bilag C. Resultaterne for to af gasprobesættene er fremhævet for at give illustrative eksempler på generelle tendenser.

Resultaterne fra gasprofilerne viser generelt meget store variationer, både imellem de enkelte sites og over tid. Sammenligner man profiler, der er opsat i samme sektion af biocoveret, er forskellene dog mindre. Det var forventet, at man ville observere de tydeligste tegn på metanoxidation i de øverste lag af biocoveret, hvor iltforholdene er mest optimale. Dette ser også ud til at være tilfældet, men resultaterne viser også, at placeringen af metanoxidationszonen ikke er fuldstændig entydig. Metanoxidationszonen er den del af kompostsøjlen, hvor hovedparten af metanoxidationen foregår. Resultaterne antyder, at zonen typisk er beliggende i de øverste 20-40 cm af komposten, men i nogle tilfælde kan den lokaliseres i den nederste del af biocoveret. Placeringen synes primært at være bestemt af tilgængeligheden af både ilt og metan, hvilket er i overensstemmelse med litteraturen (Scheutz et al., 2003; 2008; 2009a).

Tolkningen af resultaterne er kompleks, da ændringerne i gaskoncentrationerne både er et resultat af mikrobiologiske processer (metanoxidation og basalrespiration) og transport af gasserne ved diffusion og advektion. Forskelle i vandopløselighed betyder også, at en relativt større mængde CO_2 end CH_4 opløses og ledes væk med drænvandet. Herudover har selve metanoxidationsprocessen, som beskrevet i afsnit 7.3, muligvis en vis indflydelse på gasflowet igennem biocoveret.

Teoretisk set vil transport af gasserne ved diffusion alene skabe en lineær udvikling i koncentrationerne ned gennem kompostsøjlen. Indholdet af O_2 og N_2 ville være højest i de øverste kompostlag, og falde jo tættere man kommer gasfordelingslaget. Det omvendte ville være tilfældet for CH_4 og CO_2 . En jævn udvikling fra høje metankoncentrationer i de dybeste kompostlag til lave koncentrationer ved overfladen er altså ikke nødvendigvis et udtryk for metanoxidation, men kan forklares med diffusion alene. Sker der i tilgift til diffusion også advektiv transport vil kurverne få en mere eller mindre buet form. Advektionens indvirkning afgøres af, hvor stor gasfluxen er. Omsætning og produktion, som følge af metanoxidation, vil medføre, at forholdet imellem gasserne ændres. Observeres dette i kompostsøjlen, vil det være en ret stærk indikation af, at der foregår metanoxidation. To eksempler, hvor dybdeprofilerne er fremstillet grafisk, kan ses i Figur 7.12.



Figur 7.12. Grafisk fremstilling af dybdeprofilerne for site 2 d. 6. oktober og d. 11. december 2009. Bemærk de ændrede forhold imellem CH_4 og CO_2 ned igennem kompostsøjlen. De målte koncentrationer fremgår af Tabel 7.5.

Nedenfor i Tabel 7.4 og Tabel 7.5 er resultaterne for site 1 og 2 vist.

På trods af det komplekse sammenspil imellem processerne skitseret ovenfor, er det muligt at konkludere, at der ses en del tegn på, at der foregår metanoxidation i biocoveret.

Som det fremgår af de to tabeller, ændres forholdet imellem metan og kuldioxid med dybden. Typisk ligger det omkring 0,5-1,5 i de nederste kompostlag, og mindskes jo tættere man kommer overfladen. Dette er en klar indikation af, at der foregår metanoxidation. CO₂ produceret ved basalrespirationen i komposten kan også bidrage til at mindske forholdet, men basalrespirationen i biocoveret ser ud til at være relativt begrænset. Dette kan ses på profilerne for site 8, hvor der ved alle målingerne er registreret relative lave koncentrationer af CO₂, ret høje iltkoncentrationer helt ned til 70 cm's dybde og næsten ingen metan (se bilag C). Basalrespirationen kan antages at være relativt ensartet i biocoverets ni sektioner, og lave iltniveauer ved tilstedeværelse af metan er derfor en ret sikker indikation af, at der foregår metanoxidation.

Ser man på profilerne for site 2 i Tabel 7.5, er der i de fleste tilfælde registreret høje metankoncentrationer, lave koncentrationer af ilt og en tydelig ændring i forholdet imellem CH₄ og CO₂ op igennem kompostsøjlen. Gasprofilerne for site 2 viser altså klare tegn på metanoxidation.

Metanoxidaszonen placering i kompostsøjlen kan som tidligere nævnt variere. Ser man på Tabel 7.4, der viser profilerne for site 1, kan man for målingerne d. 11. december 2009 og d. 7. april 2010 lægge mærke til, at ændringerne i CH₄/CO₂-forholdet sker i de dybe kompostlag. I dette område af biocoveret befinder metanoxidaszonen sig altså i den nederste del af kompostsøjlen. Årsagen kan muligvis være, at opstrømningen af metan fra gasfordelingslaget er relativt beskeden i denne sektion. I hvert fald er de målte metankoncentrationer i både gasfordelingslaget (sektion 3) og for site 1 relativt lave (se bilag D og C). Ser man i stedet på profilerne for site 2 i Tabel 7.5, indikerer de store ændringer i CH₄/CO₂-forholdet i de øverste 40 cm af kompostlaget, at metanoxidaszonen er placeret i den øverste del af kompostsøjlen i denne del af biocoveret. Den gradvise ændring i forholdet fra bund til top, der også ses for de fleste af profilerne, indikerer derudover, at der sker en vis grad af metanoxidation i hele kompostsøjlen. Dette stemmer godt

Gasprofiler - Site 1															
06.10.2009	% v/v					CH 4/CO 2		10.03.2010	% v/v					CH 4/CO 2	
	cm	O 2	N 2	CH 4	CO 2										
	10	6,0	72,0	5,0	14,2				0,4						
	20	0,4	71,6	6,3	19,3				0,3						
	40	0,2	69,1	7,6	17,8				0,4						
	60	0,0	68,6	9,9	20,5				0,5						
20.11.2009	% v/v					CH 4/CO 2		07.04.2010	% v/v					CH 4/CO 2	
	cm	O 2	N 2	CH 4	CO 2										
	10	1,4	63,4	15,4	20,1				0,8						
	20	1,9	64,2	14,3	18,7				0,8						
	40	1,5	64,9	13,9	20,7				0,7						
	60	1,4	65,4	13,1	18,2				0,7						
11.12.2009	% v/v					CH 4/CO 2		06.05.2010	% v/v					CH 4/CO 2	
	cm	O 2	N 2	CH 4	CO 2										
	10	22,7	70,9	0,0	6,8				0,0						
	20	12,9	71,9	0,0	15,8				0,0						
	40	3,5	76,3	0,9	19,4				0,0						
	60	2,6	71,6	5,2	20,8				0,2						
18.02.2010	% v/v					CH 4/CO 2		03.06.2010	% v/v					CH 4/CO 2	
	cm	O 2	N 2	CH 4	CO 2										
	10	20,7	79,0	0,0	1,8				0,0						
	20	15,4	77,0	0,0	6,6				0,0						
	40	6,5	79,4	0,0	15,0				0,0						
	60	10,4	75,8	3,0	10,3				0,3						
	70	7,6	65,3	12,8	14,1	0,9		70	6,2	72,4	8,3	15,9	0,5		0,5
	70	1,4	66,0	12,2	18,3	0,7		70	11,2	74,2	6,1	10,3	0,6		0,6
	70	2,2	70,2	9,7	20,5	0,5		70							
	70	2,2	70,2	9,7	20,5	0,5		70							

Tabel 7.4. Gasprofiler for site 1 for perioden 6.okt. 2009 – 3.juni 2010.

Gasprofiler - Site 2											
06.10.2009	cm	% v/v				CH ₄ /CO ₂					
		O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂						
	10	4,6	74,2	4,8	14,9	0,3					
	20	0,2	65,6	12,5	20,6	0,6					
	40	0,1	49,0	28,3	22,3	1,3					
	60	0,0	46,7	28,2	19,8	1,4					
	70	0,0	43,9	33,9	22,7	1,5					
20.11.2009	cm	% v/v				CH ₄ /CO ₂					
		O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂						
	10	19,2	77,2	1,0	0,6	1,6					
	20	7,1	79,7	2,3	11,8	0,2					
	40	3,9	79,2	3,0	14,6	0,2					
	60	3,3	79,1	2,4	15,1	0,2					
	70	0,7	79,6	2,1	17,4	0,1					
11.12.2009	cm	% v/v				CH ₄ /CO ₂					
		O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂						
	10	22,2	77,9	0,3	1,4	0,2					
	20	0,9	62,3	17,7	19,7	0,9					
	40	1,0	54,8	23,5	21,1	1,1					
	60	2,1	52,0	25,6	20,3	1,3					
	70	3,7	53,3	24,4	20,1	1,2					
18.02.2010	cm	% v/v				CH ₄ /CO ₂					
		O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂						
	10	12,1	81,8	1,7	4,9	0,3					
	20	1,4	63,1	18,6	16,9	1,1					
	40	0,1	51,1	28,4	19,8	1,4					
	60	2,7	54,2	25,4	17,5	1,5					
	70	3,1	54,1	25,0	17,1	1,5					
10.03.2010	cm	% v/v				CH ₄ /CO ₂					
		O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂						
	10	8,6	75,6	7,1	11,9	0,6					
	20	1,8	70,1	14,0	18,4	0,8					
	40	1,3	64,3	19,3	18,5	1,0					
	60	4,1	64,0	18,9	16,0	1,2					
	70	1,8	60,8	21,3	17,9	1,2					
07.04.2010	cm	% v/v				CH ₄ /CO ₂					
		O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂						
	10	16,6	81,0	0,1	5,4	0,0					
	20	0,9	77,6	5,4	19,3	0,3					
	40	16,7	75,2	2,3	5,9	0,4					
	60	2,5	64,0	17,9	17,7	1,0					
	70	1,1	58,9	22,0	19,4	1,1					
06.05.2010	cm	% v/v				CH ₄ /CO ₂					
		O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂						
	10	13,2	76,2	0,5	9,8	0,1					
	20	3,2	76,3	5,1	17,7	0,3					
	40	0,9	70,6	10,2	20	0,5					
	60	3,8	71,7	8,5	17,2	0,5					
	70	0,5	70,1	11	20,6	0,5					
03.06.2010	cm	% v/v				CH ₄ /CO ₂					
		O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂						
	10	20,4	78,1	0,0	3,2	0,0					
	20	11,1	75,4	0,0	14,7	0,0					
	40	1,9	78	0,2	21,2	0,0					
	60	2,7	74,8	3,2	19,6	0,2					
	70	0,2	70,3	8,4	22,7	0,4					

Tabel 7.5. Gasprofiler for site 2 for perioden 6.okt. 2009 – 3.juni 2010.

overens med, at der eksisterer metanotrofe bakterier adapteret til lave koncentrationer af ilt og høje koncentrationer af metan.

Ser man igen på profilerne for site 1 kunne de første målinger d. 6. oktober og d. 20. november 2009 i øvrigt godt indikere, at der er gået lidt tid, før metanoxideringsprocessen er kommet i gang i dette område. Ved begge målinger er der således registreret relativt høje koncentrationer af metan i hele kompostsøjlen og lave koncentrationer af ilt. Forholdet imellem metan og kuldioxid ændrer sig samtidig ikke ret meget med dybden men er i stedet ret konstant. Årsagen til den manglende metanoxidering skal måske findes i et stort initielt iltforbrug til færdigmodning af komposten, men noget lignende er ikke set ved nogen af de andre gasprobesæt (se bilag C).

Bortset fra tydelige tegn på metanoxidering viser resultaterne fra de 12 gasprobesæt også, at fordelingen af rågassen via gasfordelingssystemet ikke er helt homogen. Ser man eksempelvis på målingerne af gassammensætningen i gasfordelingslaget i sektion 2 og for de dybe prober (70cm) for site 2, 3 og 4, der alle er installeret i denne sektion, kan der observeres store indbyrdes forskelle (se bilag D og C). Biocoverets metanbelastning er således ikke ens over hele arealet i de enkelte sektioner. Dette kan have en konsekvens for biocoverets effektivitet, hvis enkelte områder belastes med mere metan, end de metanotrofe bakterier kan nå at omsætte. Problemet formodes at kunne opstå i områder med en stor opstrømning af rågas, eksempelvis i kanten af biocoveret ved overgangen til skrænten, hvor gasopsamlingsrenderne har kontakt med gasfordelingslaget (se Figur 6.2).

Opsætningen af de to ekstra probesæt (site A og B) ved dataloggerne klarlagde desværre ikke, om væsentligt højere temperaturer ved datalogger A sammenlignet med datalogger B kunne tilskrives metanoxidering. Der er ved en enkelt måling registreret 0,2 % metan ved site A, men ellers er der slet ikke målt metan i proberne ved de to dataloggere. Ved den sidste måling d. 3. juni 2010 er der dog registreret høje kuldioxidkoncentrationer ved site A og relativt lave iltkoncentrationer. Dette kan indikere, at der er en forhøjet respiration i området omkring datalogger A. Da gasproberne er placeret omkring en meter fra dataloggerens sensorer, og disse samtidig er installeret tættere på overgangen mellem skrænten og biocoveret, hvor to af gasopsamlingsrenderne munder ud i gasfordelingslaget (se Figur 7.2), kan det dog ikke afvises, at metanoxidering rent faktisk medfører forhøjede temperaturer ved datalogger A. Gassammensætningen i komposten omkring de nedgravede sensorer kan således godt være anderledes end ved de installerede gasprober.

7.5 Overfladeemissionen af metan baseret på FID-screeninger

Generelt set indikerer FID-screeningerne, at emissionen af metan fra selve overfladen af biocoveret er lav. På store dele af biocoveret måles således typisk metankoncentrationer i niveau med baggrundskoncentrationen i atmosfæren. I visse sektioner er der dog fundet mere eller mindre permanente og sammenhængende områder med hotspots i den yderste ½-1 meter af biocoveret ved overgangen til skrænten (se Figur 7.14 og Figur 7.15). Det formodes, at en stor del af den tilbageværende metanemission, der registreres efter etableringen af biocoveret, kan tilskrives emissioner fra disse områder. Et af områderne findes i sektion 7. På grund af en konstruktionsfejl ved etableringen af biocoveret er kompostlaget i sektion 7 og 8 ikke i niveau med hinanden. Som en konsekvens heraf emitteres sandsynligvis en hel del rågas fra et større område i kanten af sektion 7. FID-screeningerne viser i hvert fald høje niveauer af metan i dette område (se bilag A).

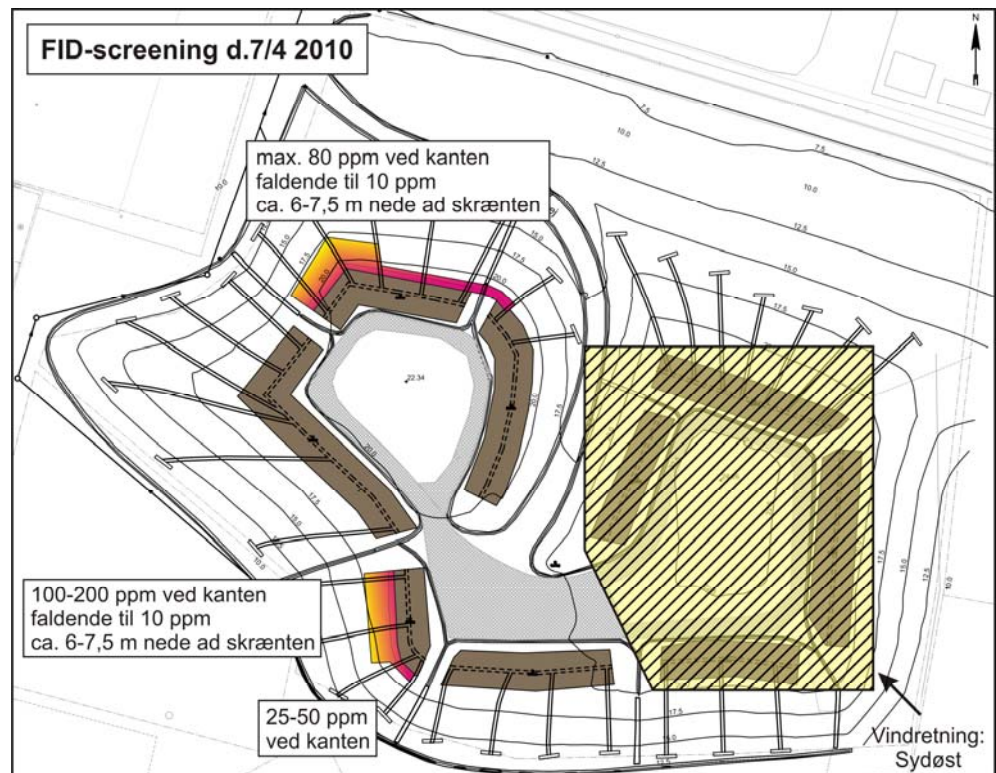
Hotspotområderne ses i øvrigt næsten udelukkende i sektionerne 2, 4, 7 og 9. Dette stemmer godt overens med det faktum, at det ligeledes er i disse sektioner, der måles de højeste koncentrationer af metan i det underliggende gasfordelingslag (se bilag D). Kraftig påvirkning af vegetationen i overgangen imellem biocover og skrænt understøtter også, at der er en stor opstrømning af gas i disse områder. Vegetationens udbredelse er skitseret i Figur 7.16, og som det ses, er vegetationen i flere sektioner kraftigt påvirket i overgangen imellem biocoveret og skrænten. Billeder fra feltarbejdet d. 3. juni 2010, der viser vegetationspåvirkningen i sektion 4 og 9, kan ses i Figur 7.13.

Udover hotspotområder i kanten af biocoveret er der ved flere af FID-screeningerne også registreret lettere forhøjede metankoncentrationer i områder, der strækker sig fra kanten af biocoveret og 5-10 meter ned ad skrænten. Disse områder ligger alle i tilknytning til hotspotområderne i kanten af biocoveret, og de kan muligvis også skyldes emissioner herfra. I hvert fald ligger de alle konsekvent nedvinds et overliggende hotspotområde på biocoveret (se bilag A).

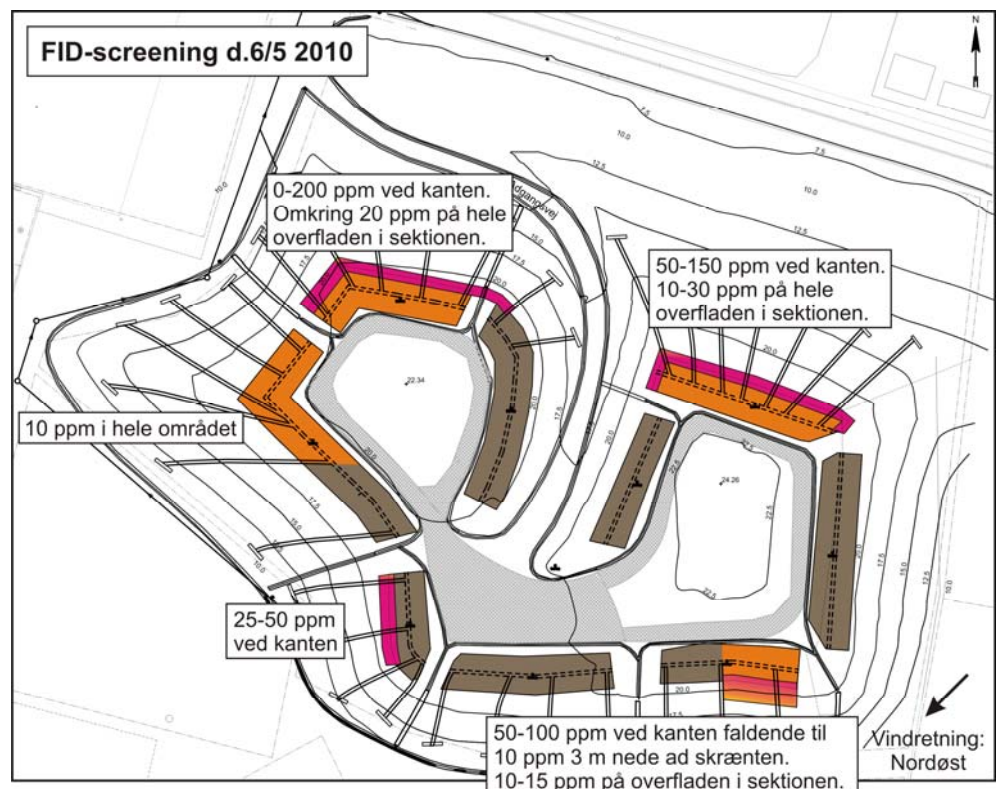


Figur 7.13. Billedcollage af biocoveret på Klintholm februar - juni 2010. Ø.tv.: Sektion 5 med datalogger A (fastgjort på markeringspind) d. 18. februar 2010. Ø.th.: Sektion 7 d. 6. maj 2010. N.tv.: Sektion 9 d. 3. juni 2010. N.th.: Fluxmåling på sektion 4 d. 3. juni 2010. Bemærk den meget tydelige påvirkning af vegetationen langs overgangen til skrænten på de to nederste billeder.

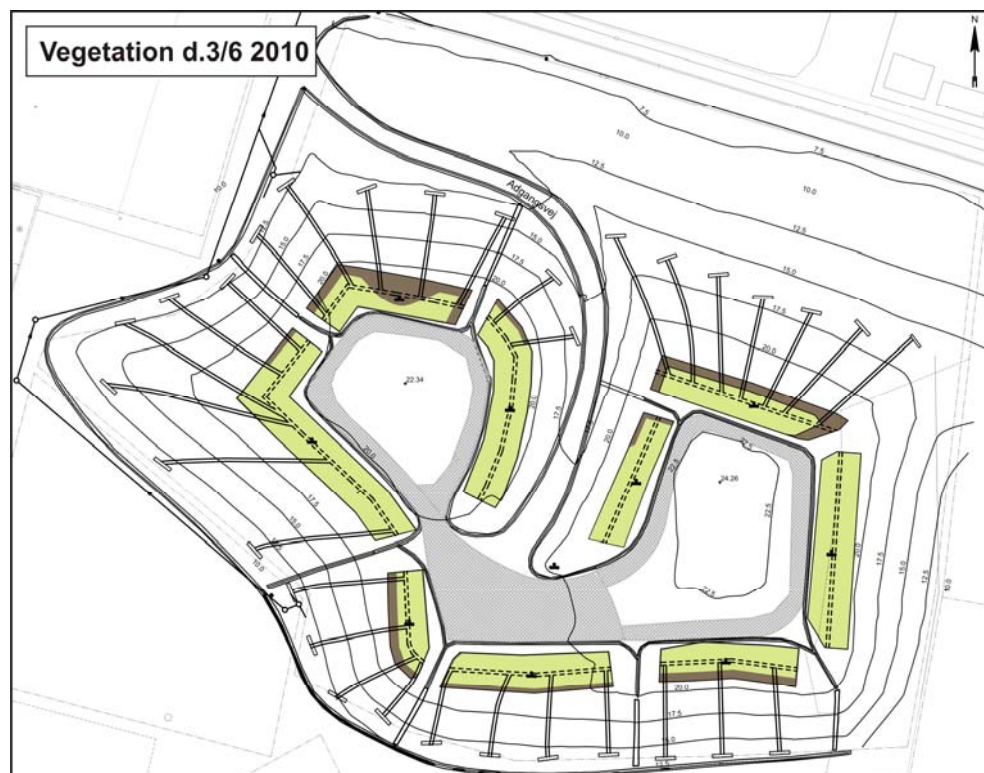
En sidste vigtig konklusion af FID-screeningerne er, at de atmosfæriske trykforhold har stor betydning for emissionsmønstret. Det ser således ud til, at der på screeningstidspunkter med faldende barometertryk er en forøget emission af metan fra biocoveret. Ved FID-screeningen d. 6. maj 2010, der er udført under faldende barometertryk, er der udover hotspots i kanten i sektion 2, 4, 7 og 9, også registreret lettere forhøjede metankoncentrationer (10-30 ppm) på overfladen af biocoveret i sektion 3, 4, 7 og 9. Ser man på målingerne af gassammensætningen i gasfordelingslaget for samme dag, er der fuldstændig overensstemmelse, idet der kun er målt metan i disse sektioner. Dette er et generelt billede. Samme fine overensstemmelse imellem FID-screeninger og gassammensætningen i gasfordelingslaget ses også for de øvrige måledage, hvor der er foretaget FID-screeninger. Registreringen af overfladeemissioner ved selv lave metankoncentrationer i gasfordelingslaget indikerer i øvrigt, at der eksisterer sprækker og andre utætheder, som gassen kan emitteres igennem, eller at en del af rågassen emitteres igennem områder med lav metanoxideringskapacitet. Der er ikke observeret sprækker ved besigtigelse af overfladen, så overbelastning af dele af biocoveret, der normalt har en lav gasgennemstrømning, er nok den mest sandsynlige forklaring på de observerede overfladeemissioner.



Figur 7.14. Illustration af FID-screening d. 7. april 2010. Screeningen er foretaget på et tidspunkt med svagt faldende barometertryk efter passagen af et højtryk (se Figur 7.11). Der blev ikke screenet i det gule skraverede område.



Figur 7.15. Illustration af FID-screening d. 6. maj 2010. Screeningen er foretaget under faldende trykforhold (se Figur 7.11). Sammenlignet med FID-screeningen d. 7. april (se Figur 7.14), der er foretaget under mere stabile trykforhold, ses et mere omfattende emissionsmønster.



Figur 7.16. Illustration af vegetationsdække på overfladen af biocoveret d. 3. juni 2010 optegnet på baggrund af billeder fra feltturen den pågældende dag. Områder uden vegetation (brunt) indikerer høj gasegennemstrømning. Billeder af vegetationspåvirkningen kan ses i Figur 7.13.

7.6 Kvantificering af overfladeemissionen af metan baseret på fluxmålinger

Mens formålet med FID-screeningerne var at få et kvalitativt billede af metanemissionsmønstret fra hele biocoveret, så var intentionen med fluxkammermålingerne at undersøge de spatiale variationer i emissionerne af metan og kuldioxid på overfladen af biocoveret. Som det fremgår af resultaterne af FID-screeningerne, der blev præsenteret i det foregående afsnit, så sker hovedparten af metanemissionen i mere eller mindre afgrænsede områder i den yderste del af biocoveret ved overgangen til skrænten. Herudover er der også store forskelle imellem de enkelte sektioner. På grund af de store forskelle er et estimat af totalemissionen af metan baseret på fluxkammermålinger behæftet med meget stor usikkerhed. Estimatet, der præsenteres senere i dette afsnit, skal derfor tages med alle mulige forbehold.

Resultaterne fra fluxkammermålingerne ved de 12 gasprobesæt kan ses i Tabel 7.6. Som det fremgår, er der meget stor spredning på de målte værdier. Dette gælder både, hvis man sammenligner målingerne imellem de enkelte sites, og hvis man ser på udviklingen over tid for hvert enkelt site. På trods af de store variationer kan der alligevel observeres nogle klare tendenser. Fluxmålingerne bekræfter således, at emissionen af metan fra overfladen af biocoveret generelt er lav. Der er således kun registreret emission af metan i ganske få tilfælde. Det ser desuden ud til, at både hyppigheden og størrelsen af de målte emissioner har været faldende over tid. Dette gælder sandsynligvis både for kuldioxid og metan, selvom der er registreret metan i så få tilfælde, at man ikke kan sige noget herom med sikkerhed.

Ser man på de målte emissioner af kuldioxid, er der dog en klart faldende tendens over tid. Emissionerne af kuldioxid stammer både fra mikroorganismernes omsætning af komposten (basalrespirationen), kuldioxid produceret ved metanoxidation i biocoveret samt fra det oprindelige indhold af kuldioxid i den opstrømmende rågas. At emissionen af kuldioxid er faldende over tid, kan sandsynligvis tilskrives et fald i basalrespirationen. Selvom der er anvendt færdigmodnet kompost til konstruktionen af biocoveret, vil der være en vis omsætning af det organiske materiale i komposten. Omsætningen vil være størst i starten og falde efterhånden som mængden af letomsætteligt organisk materiale bliver mindre. Ved inspektioner af biocoveret i løbet af monitoringsperioden har det været tydeligt at se, at komposten har "sat sig" siden etablering i efteråret 2009. Dette understøtter, at der har været en vis omsætning af det organiske materiale.

En højere initial basalrespiration kan også være en del af forklaringen på, at de målte emissioner af metan var højere i starten. Eftersom mikrobernes omsætning af det organiske materiale i komposten kræver ilt, eksisterer der en konkurrencesituation om ilt imellem dem og de metanotrofe bakterier. En høj basalrespiration vil således forbruge en stor del af ilt i komposten og formentlig derved nedsætte omsætningen af metan med øgede emissioner til følge (Scheutz et al., 2011a).

CO ₂ (g/m ² ·d)	Site												
Dato	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	A	B	Middel
20-11-2009	1275	722	31	79	52	357	147	82	72	18	Ikke målt	Ikke målt	283
11-12-2009	123	294	122	105	53	341	149	15	97	18	Ikke målt	Ikke målt	132
18-02-2010	190	216	376	2	6	125	394	0	67	9	Ikke målt	Ikke målt	138
10-03-2010	24	208	13	14	9	9	24	3	54	0	Ikke målt	Ikke målt	36
07-04-2010	91	142	34	63	26	48	78	25	52	38	Ikke målt	Ikke målt	60
06-05-2010	11	162	0	8	17	46	56	6	23	44	43	11	36
03-06-2010	41	19	33	74	34	53	23	11	15	20	38	22	32
Middel	250	252	87	49	28	140	125	20	54	21	41	17	

CH ₄ (g/m ² ·d)	Site												
Dato	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	A	B	
20-11-2009	446	5	0	0	0	0	0	0	0	0	Ikke målt	Ikke målt	
11-12-2009	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	Ikke målt	Ikke målt	
18-02-2010	0	73	15	0	0	0	6	0	0	0	Ikke målt	Ikke målt	
10-03-2010	0	35	0	0	0	0	0	0	15	0	Ikke målt	Ikke målt	
07-04-2010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Ikke målt	Ikke målt	
06-05-2010	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
03-06-2010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

CH ₄ /CO ₂	Site												
Dato	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	A	B	
20-11-2009	0,96	0,02	-	-	-	-	-	-	-	-	Ikke målt	Ikke målt	
11-12-2009	-	0,93	-	-	-	-	-	-	-	-	Ikke målt	Ikke målt	
18-02-2010	-	0,94	0,11	-	-	-	0,04	-	-	-	Ikke målt	Ikke målt	
10-03-2010	-	0,46	-	-	-	-	-	-	0,78	-	Ikke målt	Ikke målt	
07-04-2010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Ikke målt	Ikke målt	
06-05-2010	-	0,06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
03-06-2010	-	-	-	-	-	-	-0,03	-	-	-	-	-	

Tabel 7.6. Resultater af fluxkammermålinger ved de 12 gasprobesæt i perioden 20. nov. 2009 – 3. juni 2010. Tabellen er opdelt i tre dele: fluxe af CO₂, fluxe af CH₄ samt forholdet mellem emitteret CH₄ og CO₂.

Udover fluxmålinger ved de 12 gasprobesæt blev der ved feltarbejdet d. 6. maj 2010 foretaget nogle ekstra målinger ved site 2, site 9 og site A. Målingerne ved site 9 og site A blev foretaget et stykke fra gasproberne i overgangen imellem biocoveret og skrænten, hvor der ved den forudgående FID-screening var fundet hotspots. Disse målinger blev udført for at forsøge at estimere emissionen fra sådan et hotspot. Målingerne ved site 2 blev derimod udført som en måleserie. Der blev målt syv gange med en meters mellemrum på en strækning fra site 2 hen til overgangen mellem biocoveret og skrænten og ned ad skrænten. Resultaterne fra måleserien viste en meget skarp opdeling imellem biocoveret og skrænten. Mens der således blev målt ret høje emissioner af kuldioxid i området på biocoveret, så blev der næsten ikke målt noget på skrænten. Der blev derudover kun registreret lave emissioner af metan ved målingerne på biocoveret. Resultaterne fra målingerne ved site 2, site 9 og ved site A kan ses i bilag E.

Med henblik på at kunne give et mere retvisende billede af de spatiale variationer i emissionerne af metan og kuldioxid fra overfladen af biocoveret blev der ved feltarbejdet d. 3. juni 2010 foretaget tre større måleserier i grids i sektion 2, 3 og 4. Placeringen af de tre grids kan ses i Figur 7.7. Her er placeringen af målepunkter i hvert enkelt grid også illustreret. Resultaterne fra målingerne fremgår af Tabel 7.7.

Resultaterne af de tre grid-målinger giver et meget interessant billede af emissionsmønstret på biocoveret. Ud fra FID-screeningerne og de observerede vegetationspåvirkninger i overgangen imellem biocoveret og skrænten var det forventet, at målingerne ville vise, at emissionerne ville være størst i netop dette område. Dette ses også ganske tydeligt i resultaterne af gridmålingerne, men lige så interessant er det, at gridmålingerne i sektion 2 og 4 også ser ud til at påvise forskelle i emissionerne på tværs af biocoveret. Emissionerne af kuldioxid stiger således fra den inderste del af biocoveret og ud mod

skrænten. Det samme ser ud til at gøre sig gældende for metanemissionen, blot er emissionerne af mindre størrelsesorden og begrænset til et smalt bånd langs overgangen til skrænten. Da der kun er tale om 3 x 12 målinger, skal konklusionerne her tages med et vist forbehold, men de stemmer fint overens med resultaterne af FID-screeningerne præsenteret i afsnit 7.5. Der er også god overensstemmelse ift. gassammensætningen i gasfordelingslaget i de tre pågældende sektioner. Især sektion 4, men også sektion 2 har et ret højt indhold af metan, mens der i sektion 3 kun er registreret lave metankoncentrationer. Ved målingerne d. 3. juni 2010 lå indholdet af metan i gasfordelingslaget på 17,2 %, 0,0 % og 17,9 % for sektion 2, 3 og 4 respektivt (se bilag D).

S k r æ n t	1	2	3	4
	5	6	7	8
	9	10	11	12

CO ₂ (g/m ² -d)		Grid - Sektion 2			
	119,1	37,2	16,0	11,0	
	77,7	32,6	22,8	11,3	
	170,6	17,9	33,1	15,8	
middel	122,4	29,2	24,0	12,7	

CH ₄ (g/m ² -d)		Grid - Sektion 2			
	0,3				
	1,4				
	3,4				
middel	1,7				

CH ₄ /CO ₂		Grid - Sektion 2			
	0,01				
	0,05				
	0,06				
middel	0,04				

CO ₂ (g/m ² -d)		Grid - Sektion 3			
	27,7	28,8	20,1	29,6	
	20,7	33,4	21,2	26,7	
	14,4	27,6	19,1	15,5	
middel	21,0	29,9	20,1	23,9	

CH ₄ (g/m ² -d)		Grid - Sektion 3			
middel					

CH ₄ /CO ₂		Grid - Sektion 3			
middel					

CO ₂ (g/m ² -d)		Grid - Sektion 4			
	63,3	13,0	5,6	7,0	
	152,4	30,8	6,0	12,8	
	201,5	24,8	11,8	10,6	
middel	139,0	22,9	7,8	10,1	

CH ₄ (g/m ² -d)		Grid - Sektion 4			
	20,4				
	46,2	0,7			
	56,1				
middel	40,9	0,2			

CH ₄ /CO ₂		Grid - Sektion 4			
	0,88				
	0,83	0,1			
	0,77				
middel	0,83	0,0			

Tabel 7.7. Gridmålinger d. 3. juni 2010. Målepunkternes placering i hver tabel svarer til placeringen vist i øverste venstre hjørne. Placeringen af målepunkter kan også ses i Figur 7.7. Tabellen består af tre dele. Til venstre ses fluxe af CO₂ i de tre sektioner. I midten ses fluxe af CH₄, og til højre ses forholdet imellem emitteret metan og kuldioxid. Et tomt felt betyder, at der ikke er registreret en flux ved det pågældende målepunkt.

Gridmålingen i sektion 3 viser i modsætning til målingerne i de to andre sektioner et meget ensartet emissionsmønster for kuldioxid på tværs af biocoveret. Man kan derfor også spekulere i, om de stigende emissioner ud mod kanten i sektion 2 og 4 udvikles som en følge af selve metanoxiderationsprocessen. Som beskrevet tidligere, er det muligt, at områder med høj metanoxidation kan skabe et lokalt undertryk som følge af den volumenreduktion, der sker ved oxidationen af metan. Hvis tilledningen af rågas via gasopsamlingsrenderne har været stor, og forskellene i tekstur samtidig har medført tendenser til sprækkedannelse i overgangen imellem biocoveret og den lerafdækkede skrænt, er det muligt, at gasgennemstrømningen fra start har været højere i dette område. En opblomstring af metanotrofe bakterier kan have forstærket effekten yderligere. Metanoxidationen ville stige, og det deraf affødte undertryk ville suge endnu mere rågas og atmosfærisk luft til området. Den selvforstærkende proces ville på denne måde muligvis kunne etablere den observerede forskel i emissionerne på tværs af biocoveret.

På baggrund af fluxmålingerne gives her et estimat over emissionerne af metan og kuldioxid fra etape 0 efter etableringen af biocoversystemet. Estimatet er meget usikkert, og resultatet skal derfor tages med alle mulige forbehold. Udover fluxmålingerne i Tabel 7.7, og de øvrige fluxmålinger præsenteret i dette afsnit, er især FID-screeningerne og vegetationspåvirkningerne blevet brugt til fastlæggelsen af størrelsen af arealer med lave, middel og høje emissioner. Figur 7.16, der viser biocoverets vegetationsdække d. 3. juni 2010, giver et meget godt billede af, hvilke områder der har høje gasgennemstrømninger.

Biocoverets areal er på ca. 4800 m², og de ni sektioner er ca. 10 m brede. Dimensionerne af de enkelte sektioner er ikke ens, men i det følgende ses der bort fra dette, da beregningerne alligevel kun er skønsmæssige. Hovedparten af metanemissionen vurderes at ske i overgangen imellem biocover og skrænt i sektionerne 2, 4, 7 og 9, og det antages i de følgende beregninger, at emissionerne af metan sker fra de yderste 2 m af biocoveret i disse sektioner.

Halvdelen af dette areal sættes til en middel emission af metan svarende til middelværdien af målingerne i sektion 2 (1,7 g m⁻² d⁻¹), mens den anden halvdel af arealet sættes til en høj emission svarende til

middelværdien af målingerne i sektion 4 ($40,9 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) (se Tabel 7.7). Hertil skal lægges emissionerne fra hotspots, og dette er det helt store usikkerhedsmoment i beregningerne. Hotspots'ene optræder næsten udelukkende i overgangen imellem biocoveret og skrænten, men en egentlig opmåling af arealer er umulig, da der er tale om punktkilder. Samtidig er det svært at give et mål for en middelmæssig emission fra et hotspot, da emissionerne også ser ud til at være meget variable. På baggrund af fluxmålingerne over to hotspots, omtalt tidligere i dette afsnit, sættes middelmæssigheden lidt konservativt til $400 \text{ og } 600 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ for metan og kuldioxid respektivt. Det samlede hotspot-areal sættes til 50 m^2 , hvilket svarer til ca. 1 % af biocoverets samlede areal. Emissionen af metan fra resten af biocoverets overflade sættes til nul, mens det for kuldioxid sættes til $32 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Disse værdier er middelværdier af fluxmålingerne ved de 12 gasprobesæt d. 3. juni 2010. (se Tabel 7.6).

Resultatet af estimatet fremgår af Tabel 7.8. Med de givne forudsætninger fås en emission fra etape 0 efter etablering af biocoveret på ca. 29 kg metan og 224 kg kuldioxid pr. døgn. Resultaterne her er meget usikre og skal derfor tages med alle mulige forbehold. Totalmålingerne af metanemissionen ved dynamisk fane metoden, der præsenteres i afsnit 7.8, vurderes at give et meget mere præcist billede af de faktiske emissioner.

Estimat over emissioner fra Biocover - CH ₄				
Område	Beregning af Areal	Areal (m ²)	CH ₄ (g/m ² ·d)	CH ₄ (g/d)
Lav emission	4800-2-213-50	4323	0	0
Middel emission	2/9-2/10-4800	213	1,7	363
Høj emission	2/9-2/10-4800	213	40,9	8719
Hotspots	-	50	400	20000
Total		4800		29082
Estimat over emissioner fra Biocover - CO ₂				
Område	Beregning af Areal	Areal (m ²)	CO ₂ (g/m ² ·d)	CO ₂ (g/d)
Lav emission	4800-2-213-50	4323	32	138347
Middel emission	2/9-2/10-4800	213	122,4	26122
Høj emission	2/9-2/10-4800	213	139,0	29663
Hotspots	-	50	600	30000
Total		4800		224131

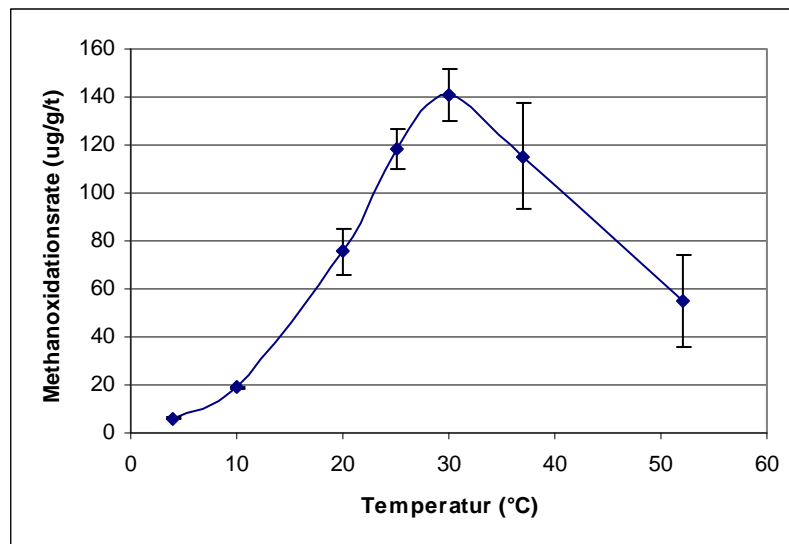
Tabel 7.8. Estimat over emissionerne af metan og kuldioxid fra etape 0 efter etablering af biocover baseret på fluxkammermålinger.

7.7 Undersøgelse af metanoxidation

7.7.1 Temperaturafhængighed

Metanoxidaionsprocessens temperaturafhængighed blev undersøgt ved udførsel af batchforsøg med kompost udtaget fra biocoveret. Metanoxidaionsraten blev målt til at ligge mellem $0,39 \mu\text{mol g}_{\text{tørsvægt}}^{-1} \text{ t}^{-1}$ og $9,28 \mu\text{mol g}_{\text{tørsvægt}}^{-1} \text{ t}^{-1}$ i temperaturintervallet 4 til 52° C. Oxidaionsraten var højest ved 30° C og lavest ved 4° C. Der var ingen af de undersøgte temperaturer, hvor der ikke fandt metanoxidation sted. Den fundne optimumtemperatur omkring 30° C ($9,28 \mu\text{mol g}_{\text{tørsvægt}}^{-1} \text{ t}^{-1}$) stemmer godt overens med tidligere studier på området (Scheutz et al., 2009a). Metanoxidaionsraterne som funktion af temperaturen er vist i Figur 7.17.

Et efterfølgende pilotforsøg, hvor infusionsflaskerne blev inkuberet ved 55, 60 og 70° C, viste i øvrigt, at den øvre grænse for metanoxidation i biocoverkomposten ligger et sted imellem 60 og 70° C. Der var i disse batchforsøg således stadig omsætning af metan ved 60° C, mens målingerne af gassammensætningen i de to infusionsflasker inkuberet ved 70° C ikke viste ændringer i koncentrationen af metan over tid. Da kompostprøverne ikke længere var helt friske på tidspunktet for udførelsen af pilotforsøget, og da startkoncentrationen af metan var lavere i disse forsøg, er resultaterne fra pilotforsøget ikke direkte sammenlignelige med resultaterne fra det første temperaturforsøg. Resultaterne benyttes derfor kun til at påvise, at den øvre grænse for metanoxidation i biocoverkomposten ligger i intervallet 60-70° C.

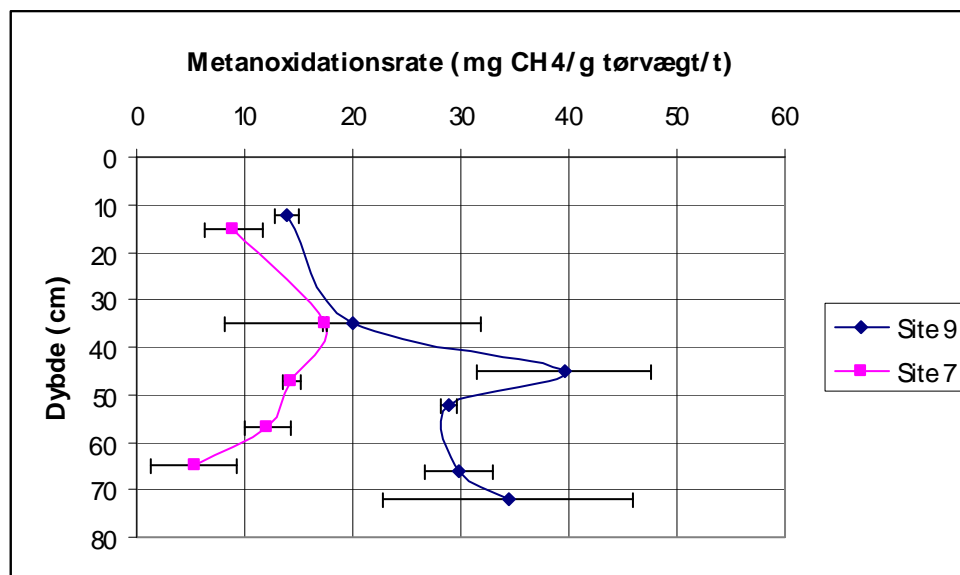


Figur 7.17. Metanoxiderationsraten som funktion af temperaturen undersøgt ved batchforsøg med kompostprøver udtaget ved site 9 på biocoveret. Det ses, at optimum for metanoxiderationsprocessen i biocoveret ligger omkring 30° C. Kompostprøverne bestod af en blanding af kompost fra flere dybder af biocoveret.

7.7.2 Metanoxiderationsraten som fkt. af dybden

Metanoxiderationsraterne som funktion af dybden i biocoveret blev undersøgt ved batchforsøg med kompost udtaget fra biocoveret. Kompostprøverne blev udtaget ved site 7 og 9, og resultaterne fra batchforsøgene viser en tydelig forskel på, hvor meget metan der omsættes de to steder. For prøverne fra site 7 var den gennemsnitlige metanoxiderationsrate $11,63 \text{ mg CH}_4 \text{ g}_{\text{tørsubstans}}^{-1} \text{ t}^{-1}$, mens den for prøverne fra site 9 var $27,75 \text{ mg CH}_4 \text{ g}_{\text{tørsubstans}}^{-1} \text{ t}^{-1}$. Udviklingen i metanoxiderationsraterne over dybden er illustreret i Figur 7.18. Som det ses, er raterne ved site 9 højere end de tilsvarende rater for site 7. Ved sammenligning af gasprofilerne for site 7 og 9 ses det, at metanindholdet er væsentligt højere ved site 9 (se bilag C). Det giver derfor god mening, at metanoxiderationsraterne også er højere i dette område, da komposten her sandsynligvis indeholder flere metanotrofe bakterier, sammenlignet med komposten ved site 7. Resultatet her er i god overensstemmelse med tidligere studier på Fakse losseplads, hvor det blev påvist, at forskelle i metanoxiderationsraterne kunne tilskrives forskelle i metanbelastningen i de enkelte områder af bioinduet, hvor kompostprøverne blev udtaget (Scheutz et al., 2011a; Pedersen et al., 2011b).

Det er i øvrigt interessant, at oxiderationsraterne for begge sites er relativt lave i de øverste kompostlag (0-12 cm). Dette skyldes sandsynligvis, at prøverne er udtaget i vinterperioden (d.18. februar 2010), hvor den øverste del af biocoveret afkøles. Metanoxiderationszonen vil således være placeret dybere i kompostlaget i vintermånederne, da temperaturen tæt på overfladen ligger væsentligt under den fundne optimumtemperatur på 30° C for metanoxiderationsprocessen (se afsnit 7.7.1; Scheutz et al., 2009). Figur 7.8, der viser temperaturdata fra de to dataloggere, understøtter denne betragtning.



Figur 7.18. Metanoxiderationsrater som fkt. af dybden i biocoverkomposten. Batchforsøgene er udført med kompostprøver udtaget fra forskellige dybder ved site 7 og 9 på biocoveret. Som det ses, er der stor forskel på metanoxiderationsraterne de to steder. Den højeste metanoxiderationsrate for site 7 findes i 12-35 cm's dybde, mens den for site 9 ligger i 35-45 cm's dybde (de seks målepunkter repræsenterer kompost udtaget fra: 0-12, 12-35, 35-45, 45-52, 52-66 og 66-72 cm's dybde).

7.8 Måling af totalemission

Tabel 7.9 giver et samlet overblik over metanemissionerne fra etape 0, etape 1 og komposteringsanlægget fastlagt ved totalmålingerne før, under og efter etablering af biocoversystemet. Som det ses, har etableringen af biocoversystemet medført et kraftigt fald i metanemissionen fra etape 0.

Da etape 0 og etape 1 er beliggende meget tæt på hinanden, var det desværre ikke muligt at opnå en tilfredsstillende adskillelse af metanfanerne fra de to etaper. I stedet er fordelingen af den totale metanemission imellem de to etaper beregnet ud fra forholdet imellem etapernes modelberegne gasproduktioner. Dette medfører naturligvis en vis usikkerhed omkring de opnåede reduktioner.

De to målinger, foretaget før etableringen af biocoversystemet, viser en samlet gennemsnitlig metanemission fra etape 0 og etape 1 på 15,0 kg t⁻¹. Denne værdi er udgangspunktet ved udregningen af reduktionen i tons CO₂-ækvivalenter for etape 0. I perioden omkring færdiggørelsen af biocoversystemet blev der udført yderligere to totalmålinger; én før ilægning af kompost i de ni biocoverbede og en måling efter ilægning af komposten. Ved sidstnævnte måling var gasdistributionssystemet endnu ikke lukket, hvorfor det kan antages, at en stor del af den opsamlede rågas ikke passerede igennem de nyanlagte biocoverbede men i stedet undslap via de vertikale gasfordelingsrør (PE-rør til gasprøvetagning), der stadig stod åbne på dette tidspunkt. Forskellen imellem de to målinger beskriver derfor ikke effekten af det nyanlagte biocover. De målte totale metanemissioner på henholdsvis 11,2 kg t⁻¹ og 12,1 kg t⁻¹ antyder dog, at der alligevel er sket en mindre reduktion ift. gennemsnittet af baseline-målingerne (15,0 kg t⁻¹). Det er muligt, at dette kan tilskrives etableringen af kolonier af metanotrofe bakterier i gasfordelingslaget.

Efter etablering af biocoveret er udført tre totalmålinger for foråret 2010 (Tabel 7.9). Totalemissionen er over perioden målt til hhv. 9,1, 7,0 og 6,1 kg t⁻¹, og viser således en faldende emission. Alle tre målinger er foretaget under stabile atmosfæriske trykforhold med meget begrænsede ændringer i det absolutte barometertryk (se bilag B). Forskellen mellem de tre målte emissioner kan derfor ikke tilskrives forskelle i atmosfæriske trykforhold. De tre målinger viser, at der er sket en udvikling i biocoveret mod højere effektivitet. Hvorvidt denne udvikling kan tilskrives sæsonvariation, det at det bliver varmere over foråret, eller om udviklingen skyldes en stadig bedre tilpasning og udvikling af de metanotrofe bakterier i biocoveret kan ikke afgøres. Det er også muligt at den fremvoksende vegetation over foråret har haft en positiv indvirkning på metanomsætningen.

Når man skal vurdere biocoversystemets effektivitet, tages der udgangspunkt i gennemsnittet af de to baseline-målinger. En sammenligning af emissionen efter etablering af biocoversystemet med baseline-målingerne vil give et udtryk for netto-gevinsten ved at etablere systemet. Dette vil give et mål for forbedringen ift. en normal afdækning af etape 0 med lerholdig jord. Denne værdi kan benyttes til at beregne reduktionen i tons CO₂-ækvivalenter for Klintholm I/S, der følger af etableringen af biocoveret på etape 0.

Tabel 7.9. Samlet overblik over metanemissionerne (kg t⁻¹) fra etape 0, etape 1 og komposteringsanlægget målt ved totalmålingerne. Fordelingen af de målte totalemissioner imellem etape 0 og etape 1 er beregnet ud fra forholdet imellem modelberegne gasproduktioner for de to etaper (se bilag I). ved beregningen af metanemissionerne i monitoringsperioden antages det, at hele den opnåede reduktion kan tilskrives effekten af biocoveret. Dog tages der højde for, at gasproduktionen falder over tid.

Dato	Total metanemission fra etape 0 og 1	Etape 0	Etape 1	Komposterings-anlæg
<i>Baseline</i>				
02.04.2008	14,0			4,5
05.08.2008	16,0			1,7
Gennemsnit	15,0	8,3 (7,6-9,1)	6,7 (5,9-7,4)	
<i>Efter etablering af biocover system – før og efter ilægning af kompost</i>				
17.08.2009	11,2			2,6
25.09.2009	12,1			6,1
Gennemsnit	11,7			
<i>Monitoringsperioden</i>				
09.04.2010	9,1			
25.05.2010	7,0			7,9
14.06.2010	6,1			
Gennemsnit	7,4	1,2 (0,6-1,9)	6,2 (5,5-6,8)	
Reduktion		7,0-7,2		
Reduktion (%)		79-93%		

I Tabel 7.9 ses de målte totale metanemissioner og de beregnede emissioner fra etape 0 og etape 1. De viste intervaller (tallene i parentes) kan henføres til, at gasproduktionen i modelberegningerne udregnes på to forskellige måder baseret på henholdsvis en hurtig og en langsom omsætning af affaldet. Ved at sammenligne gasproduktioner, der er baseret på en langsom omsætning i etape 0 og en hurtig omsætning i etape 1 (og omvendt), fås de viste fordelinger af de målte totalemissioner i baseline studiet. Ved efterfølgende at tilskrive hele den opnåede reduktion i totalemissionen til biocoveret, og indregne det naturlige fald i gasproduktionen, kan de opnåede reduktioner for etape 0, samt biocoverets effektivitet beregnes. Som det fremgår af Tabel 7.9, medfører dette en opnået reduktion i metanemissionen fra etape 0 på 7,0-7,2 kg t⁻¹, svarende til en effektivitet for biocoveret på 79-93 %.

8 Økonomi

8.1 Etableringsomkostninger

Slutafdækning og etablering af biocover er gennemført i perioden april til september 2009. Omkostninger til etableringen fremgår af nedenstående Tabel 8.1.

Omkostningerne omfatter foruden selve entreprenøromkostningerne også forudgående projektering, tilsyn under udførelsen og efterfølgende opmålinger.

Omkostninger til etablering af biocover og slutafdækning på Klintholm Deponi, etape 0	Biocover	Afdækning	Samlet
Entreprenøromkostninger i DKK	765.197	1.172.670	1.937.867
Fordeling af anlægsomkostninger i %	39%	61%	100%
Projektering og tilsyn i DKK	137.052	247.948	385.000
Opmålinger før og efter i DKK		68.738	68.738
Samlet	902.249	1.489.356	2.391.605

Tabel 8.1. Omkostninger til etablering af slutafdækning og biocover på Klintholm Deponi etape 0, 2009.

8.2 Forventede "skyggepriser for CO₂-eq. reduktion"

Der er på grundlag af de afholdte omkostninger til etablering af biocoversystemet foretaget en beregning af prisen for reduktion af 1 ton CO₂ eq. Omkostningerne er forrentet og afskrevet over etapens 30 årige efterbehandlingsperiode. Forrentningen er sat til 6 % p.a. Beregningen fremgår af Tabel 8.2.

I beregningerne indgår feltmålinger for bestemmelse af den totale emission af metan som grundlag for dimensionering af biocover samt som dokumentation for emission uden biocover ("baseline").

I beregningerne indgår endvidere efterfølgende monitoring af gasemissionen de næste 30 år af deponiafsnittets efterbehandlingsperiode. Det kan diskuteres, om monitoringen i denne periode skal medregnes, da målinger af gasemissionen ifølge bestemmelserne i deponeringsbekendtgørelsen (BEK nr. 252 af 31/03/2009) skulle være udført under alle omstændigheder.

Omkostninger til etablering af biocover på Klintholm deponi etape 0				
Aktivitet	Enhed	Pris/enhed	Pris	Samlet pris
Baseline study	Mdr	DKK	DKK	DKK/30 år
VIP	4	50.000	200.000	
TAP	1	30.000	30.000	
Totalmåling	3	35.000	105.000	
Materialer og transport			20.000	
Sum			<u>355.000</u>	
Forrentning og afskrevet over 30 år med	6%	p.a.		358.311
Biocover etablering	Tons			
Anlægsomkostninger 2009 jf. anlægsregnskab			902.249	
Leveret havekompost fra Svendborg, sorteret	2754	39	107.406	
Leveret køkkenkompost (Klintholm), sorteret	422	15	6.330	
Leveret knust beton, sorteret	1426	30	42.780	
Anlægssum			<u>1.058.765</u>	
Forrentning og afskrevet over 30 år med	6%	p.a.		1.068.640
Årlige driftsudgifter				
Vedligeholdelse af biofiltre	3% af anlægsum		<u>31.763</u>	952.888
Dokumentation	Antal			
Overfladescreening (FID)	30	6.000	180.000	
Totalmåling	14	40.000	560.000	
Sum			<u>740.000</u>	
Samlet udgift over 30 år				740.000
Total per år med årlig dokumentation				3.119.839
Total per år uden årlig dokumentation				2.379.839

Tabel 8.2. Beregning af omkostninger for etablering og monitoring af biocover på Klintholm Deponi, etape 0, 2009.

Som beskrevet i afsnit 7.8 er der gennemført to totalmålinger af metanemissionen i "baseline study". De viste en gennemsnitlig total metanemission fra etape 0 og etape 1 på 15,0 kg t⁻¹. Heraf vurderes ca. 8,3 kg t⁻¹ at stamme fra etape 0. Efter etableringen af biocover er der i monitoringsperioden gennemført tre totalmålinger af metanemissionen. Ved at sammenligne gennemsnittet heraf med en fremskrivning af metanemissionen for etape 1, kan emissionen fra etape 0 beregnes og derefter den opnåede reduktion.

Med baggrund i den observerede nedadgående tendens i de målte metanemissioner i monitoringsperioden beskrevet i afsnit 7.8, kunne der argumenteres for, at de opnåede reduktioner skulle udregnes på basis af målingen d. 14. juni 2010 alene. Pga. problemerne med at opsplitte metanfanerne fra etape 0 og etape 1, er der dog en vis usikkerhed omkring de beregnede emissioner fra de to etaper. For at opnå et mere konservativt skøn udregnes de opnåede reduktioner derfor i stedet på baggrund af et gennemsnit af de tre totalmålinger i monitoringsperioden.

Som det fremgår af Tabel 7.9 kan den opnåede reduktion i metanemissionen fra etape 0 beregnes til ca. 7,1 kg t⁻¹. Dette er udgangspunktet for beregningerne af "skyggepriserne" for CO₂-reduktion over de 30 år, hvor der forventes en registrerbar metanemission fra etape 0.

Tabel 8.3 og Tabel 8.4 viser de beregnede emissioner før og efter etableringen af biocover. Tabel 8.3 viser emissionerne for det første år, mens Tabel 8.4 angiver de akkumulerede emissioner over den 30-årige efterbehandlingsperiode. Den opnåede reduktion i metanemissionen fra etape 0 kan på baggrund heraf beregnes til 23.324 tons CO₂-eq.

Tabel 8.3. Estimerede metanemissioner fra etape 0 før/efter etablering af biocover.

Emission fra etape 0		Før etablering af biocover		Efter etablering af biocover	
	Enhed	Kg/time	Tons/år	Kg/time	Tons/år
Metan (CH ₄)		8,3	72,7	1,2	10,5
CO ₂ -eq		208	1.818	30,0	263

Tabel 8.4. Estimerede metanemissioner fra etape 0 over 30 år.

Emission fra etape 0		Før etablering af biocover		Efter etablering af biocover	
	Enhed	Kg/time	Tons/30 år	Kg/time	Tons/30 år
Metan (CH ₄)		8,3	1.091	1,2	158
CO ₂ -eq		208	27.266	30,0	3.942

Sammenholdes den opnåede reduktion i gasemissionen med omkostningerne til etablering af biocover og monitorering estimeres nedenstående "skyggepris" for CO₂-reduktion over de 30 år, hvor der forventes en registrerbar metanemission (Tabel 8.5). Det forudsættes, at gasproduktionen falder fra den målte værdi år 1 til nul 30 år efter.

Tabel 8.5. Pris for reduktion af metanemissionen på Klintholm Deponi etape 0.

Skyggepris for CO ₂ reduktion	Tons CO ₂ .eq før biocover	Tons CO ₂ .eq efter biocover	Reduktions- faktor i %	DKK/tons reduc. CO ₂ .eq
Emission af CH ₄ i CO ₂ -eq/år	27.266	3.942	86%	
Pris med omkostninger til monitorering				134
Pris uden omkostninger til monitorering				102

Som det fremgår af Tabel 8.5 beregnes CO₂-reduktionsprisen til 134 og 102 DKK per ton reduceret CO₂-ækvivalent inc./excl. udgifter til det opfølgende monitoringsarbejde. Det skal understreges, at priserne er behæftet med en vis usikkerhed, pga. de tidligere beskrevne problemer med at adskille metanemissionerne fra etape 0 og etape 1.

9 Formidling

Projektets resultater og erfaringer er formidlet i denne slutrapport, som er udgivet elektronisk af Miljøstyrelsen.

De fra projektet opnåede resultater og erfaringer er og vil herudover blive formidlet løbende ved foredrag afholdt ved danske konferencer (afholdt af DAKOFA eller RENOSAM) samt ved udenlandske konferencer (Sardinien, oktober 2009; ICLRS i Japan, juni 2010; GWMS i San Antonio, oktober 2010). Der vil som minimum blive udarbejdet en dansk artikel og en engelsksproget videnskabelig artikel, der summerer projektets resultater og erfaringer. Herudover udarbejder Institut for Vand og Miljøteknologi, DTU og Rambøll Danmark A/S i fællesskab en artikel til tidsskriftet "Teknik & Miljø".

10 Konklusion og forslag til videre arbejde

10.1 Konklusion

Biocoverprojektet på etape 0 på Klintholm losseplads kan efter afslutningen af monitoringsperioden i juni 2010 konkluderes at have været succesfuldt.

Projektets hovedformål - at reducere etapens metanemission med en faktor 10 er tæt på at være opfyldt, idet metanemissionen vurderes at være reduceret med 79-93 %. Via projektets omfattende monitoringsprogram er det desuden for første gang nogensinde blevet dokumenteret, at biocoverteknologien fungerer og kan anvendes som en billig lavteknologisk løsning til håndtering af metanemissioner fra lossepladser.

Der er et stort potentiale for drivhusgasreduktioner ved at begrænse emissionerne af metan fra lossepladser verden over. For dette projekt kan prisen per tons reduceret CO₂-ækvivalent beregnes til ca. 134/102 DKK inc./excl. udgifter til det opfølgende monitoringsarbejde. Optimering af teknologien kan reducere prisen yderligere, og implementering af biocoverteknologien kan på sigt blive et af de redskaber, der skal være med til at løse en af menneskehedens måske største udfordringer - den tiltagende globale opvarmning. Teknologien har yderligere den fordel, at den er lavteknologisk. De anvendte materialer vil typisk være tilgængelige på den pågældende losseplads, og teknologien vil derfor kunne benyttes langt de fleste steder, både i I-lande og i U-lande. Herhjemme forventes biocoverteknologien at kunne reducere udslippet af metan på mindst 100 lossepladser, men teknologien har sit helt store potentiale uden for landets grænser, hvor man modsat DK (og Nordeuropa) endnu ikke har så meget fokus på genanvendelse og forbrænding af affaldet, hvorfor en stor del stadig deponeres i lossepladser. Her vil teknologien kunne gøre en endnu større forskel på tusindvis af lossepladser. Det forventes desuden, at teknologien vil kunne godkendes indenfor de rammer for CO₂-reduktion, der er defineret i Kyoto-aftalen. Når dette er sket, vil teknologien kunne benyttes til Joint Implementations (JI) - projekter i I-landene og Clean Development Mechanisms (CDM) - projekter i U-landene. Ud fra de tekniske erfaringer, der er høstet ved projektet, forventes det, at biocoverteknologien kan optimeres yderligere. Dette vil sænke prisen pr. tons reduceret CO₂-ækvivalent og føre til endnu lavere metanemissioner.

10.2 Forslag til videre arbejde

Yderligere undersøgelser af metanoxidationen:

Der har i dette projekt været arbejdet med analyse af fordelingen af stabile C-isotoper i den emitterede metangas. Dette er gjort med henblik på at kvantificere metanoxidationen før og efter etableringen af biocoversystemet på etape 0 og for at kunne opstille en metanmassebalance for etape 0. Metoden har desværre vist sig at være meget usikker, især når der arbejdes med lave metankoncentrationer, og resultaterne af arbejdet er derfor ikke medtaget i denne rapport. De indsamlede gasprøver er blevet analyseret for stabile carbonisotoper af Jeffrey Chanton på Afdelingen for Oceanografi, på Florida State University i USA. Fremadrettet vil DTU Miljø fortsætte samarbejdet og medvirke til at få videreudviklet metoden, så den forhåbentlig på et senere tidspunkt kan bruges til at kvantificere metanoxidationen ved lignende projekter.

Udvikling af metode til udførsel af totalmålinger:

Der har i projektet været problemer med at separere metanemissionerne fra etape 0 og etape 1 under de udførte totalmålinger. Dette burde ellers være muligt med den anvendte metode, men etapernes tætte beliggenhed viste sig at udgøre et problem. Dette har medført en forøget usikkerhed på resultaterne, da den opnåede reduktion i metanemissionen fra etape 0 som følge af etableringen af biocoveret således ikke kunne kvantificeres direkte. Fremadrettet bør det være et vigtigt fokusområde at optimere denne del af metoden, så det ikke bliver et problem ved kommende projekter, hvor man ønsker at adskille bidragene fra to tætliggende områder med metanemission.

I projektet er der endvidere observeret en sammenhæng mellem emission og udvikling i atmosfæretryk. Overordnet indikerer resultaterne, at der er stor dynamik i gassammensætningen og gasgennemstrømningen i biocover som følge af ændringer i atmosfæretryk. Denne sammenhæng bør undersøges nærmere f.eks. ved at udføre totalmålinger over en periode med ændringer i atmosfæretrykket. Dette vil kunne tilvejebringe kvantitative mål for ændringen i emissionens størrelse som følge af specifikke trykændringer. Det har ikke i dette projekt været muligt at udføre sådanne målinger pga. begrænset adgang til udstyr samt begrænsninger i økonomien.

Trods problemerne nævnt ovenfor, har projektet vist, at totalmålinger af emissionen ikke blot er et godt redskab til men også helt nødvendig for at bestemme effektiviteten af biocoveret. Det er derimod ikke nok blot at udføre punktmålinger f.eks. vha. fluxkamre på biocovers overflade, idet en væsentlig del af emissionen kommer fra en meget begrænset del af overfladen (via hotspots), hvilket er svært om ikke umuligt at kvantificere ved sådanne punktmålinger. Desværre er totalmålinger ikke kommercielt tilgængelige i Danmark, og de er stadig relativt dyre, hvilket begrænser udførslen af disse målinger. Da målearbejdet stiller krav til vejr og vindforhold er det nødvendig med en vis fleksibilitet og parathed, som vanskeliggøres af, at metoden ikke er tilgængelig i Danmark. Der bør arbejdes mod, at metoden bliver udviklet i Danmark samt, at metoden med tiden kan blive billigere og dermed mere tilgængelig. DTU Miljø arbejder på at opbygge en mobil analyseplatform, som forventes at være klar juni 2011. Endvidere bør der udføres flere målinger i Danmark således, at der med tiden kan opstilles retningslinier for, hvordan og hvor ofte sådanne målinger bør udføres for at få et fyldestgørende resultat af emissionen/reduktionen fra et deponi.

Mikrobiologiske undersøgelser:

Med fokus på mikrobiologien kunne det være interessant at sammenligne bakteriekulturene i gasfordelingslagets forskellige sektioner, eksempelvis sektion 1 og 4. Da det ene miljø har lave substratkoncentrationer (metan) og relativt høje iltkoncentrationer, og det andet miljø har høje substratkoncentrationer og lave iltkoncentrationer, er det sandsynligvis forskellige bakteriekulturer, der dominerer de to steder. Da kendskabet til metanotrofe bakterier generelt, og i kompost i særdeleshed, ikke er særligt stort, vil det være oplagt at undersøge dette nærmere. Herudover anbefales det, at der udføres yderligere batchforsøg med kompostprøver fra biocoveret for at fastlægge den øvre temperaturgrænse for metanoxidation i biocoveret.

Optimering af biocoveret ved faciliteret indstrømning af atmosfærisk luft:

Montering af ventiler, der tillader indstrømning af atmosfærisk luft til gasfordelingslaget men forhindrer udstømning, kan muligvis øge effektiviteten af biocoversystemet. Ved at montere ventiler på PE-rørene i de ni sektioner af biocoveret, er det måske muligt at øge den indstrømning af atmosfærisk luft, der formodes at finde sted, hver gang det atmosfæriske tryk stiger. Virker dette i praksis, vil den forøgede iltmængde forbedre vækstbetingelserne for de metanotrofe bakterier i gasfordelingslaget og den nederste del af biocoveret med øget metanomsætning til følge.

Optimering af overfladescreeninger ved brug af termografi:

Det er muligt, at afsøgningerne af overflader for emissioner af metan kan forbedres ved at benytte et termografisk kamera i kombination med FID-analyseren. Områder med forøget opstrømning af varm rågas vil sandsynligvis kunne identificeres ved en indledende termografisk undersøgelse. FID-analyseren kan derefter benyttes til at undersøge, om der er tale om hotspots med opstrømning af varm rågas, eller om der er tale om omsat metan eller CO₂ fra et område med en høj basalrespiration

Eksperimenter med vegetationsdække:

Det er uvist, om vegetationen på overfladen af biocoveret har indflydelse på effektiviteten af systemet. Planter med dybe rødder kan muligvis udgøre et problem, men et vegetationsdække kan omvendt også vise sig at have en gunstig indflydelse. Stabilisering af vandindholdet i de øverste kompostlag og øget bestandighed overfor vind og vejr kunne være to positive effekter af et vegetationsdække. Forskelle i vegetationspleje/slåmetoder samt eksperimenter med varierende beplantning i en eller flere sektioner af biocoveret kunne være mulige fremgangsmåder til at undersøge, om biocoveret påvirkes af et vegetationsdække på overfladen.

Analyse af kompostsammensætningen over tid

Sammensætningen af komposten vil sandsynligvis ændres over tid. Kompostens oprindelige indhold af letomsætteligt organisk materiale vil falde, men samtidig vil der ske en assimilering af carbon via de metanotrofe bakteriers omsætning af metan. Det er endda muligt, at der i visse områder af biocoveret med stor omsætning af metan, vil ske en opbygning af kompostens carbonindhold. Jævnlig udtag af kompostprøver til analyse for organisk indhold mm. kan være med til at belyse dette og give nyttig viden ved korrelation til biocoversystemets effektivitet over tid.

10.3 Monitoringsplan

Udgifterne til det opfølgende monitoringsarbejde på etape 0 på Klintholm losseplads indgår i de samlede omkostninger for biocoverprojektet. Prisen for reduktion af 1 ton CO₂ ækvivalenter påvirkes derfor af, hvilket omfang der fastlægges for monitoringsarbejdet. Etapens efterbehandlingsperiode er fastsat til 30 år. Jævnfør deponeringsbekendtgørelsen (BEK nr. 252 af 31/03/2009) skulle der under alle omstændigheder udføres undersøgelser til bestemmelse af etapens metanemission. Det skønnes derfor rimeligt, at man kun inddrager en del af udgifterne til det opfølgende monitoringsarbejde på etape 0 i de samlede omkostninger for Biocoverprojektet.

Da vilkårene for monitoring af deponigas endnu ikke er endeligt fastlagt men stadig er under udvikling, tages der i monitoringsplanen kun hensyn til, at biocoverets funktion over tid skal kontrolleres. Omfanget af det planlagte monitoringsarbejde vil dog sandsynligvis være tilstrækkeligt til en eventuel fremtidig akkreditering af biocovereteknologien til JI- og CDM-projekter, såfremt effektiviteten af biocoveret over tid viser sig at være stabil.

Starttidspunktet for monitoringsperioden fastsættes til d. 1. januar 2011.

For at kontrollere effektiviteten af biocoveret over tid foretages totalmålinger af emissionerne af metan og overfladescreeninger/besigtigelser af biocoveret.

Nedenfor er opstillet et scenarie for det opfølgende monitoringsarbejde. Programmet er udarbejdet under antagelse af, at biocoveret vedbliver med at fungere efter hensigten, og at monitoringsfrekvensen derfor gradvist kan nedsættes med tiden.

Monitoringsprogrammet består af to dele. Den ene del udgøres af en årlig overfladescreening og fysisk besigtigelse af biocoveret, der har til formål at opdage skader/slitage på biocoveret. Overfladescreeningen foretages med en FID-analyser og bør udføres under worst-case-forhold - dvs. efter vinterperioden og under faldende barometertryk. Erosionsskader/slitage på biocoveret vil sandsynligvis være størst i vinterperioden pga. mere blæst og nedbør. Undersøgelsen og de eventuelle efterfølgende udbedringer af skader på biocoveret bør derfor foretages efter vinterperioden.

Den anden del af det opfølgende monitoringsarbejde består i målinger af etapens totalemission af metan. Ved totalmålingerne benyttes dynamisk-fane-metoden (dynamic plume method) (Galle et al., 2001), der også blev benyttet i selve biocoverprojektet. Disse målinger foretages under stabile vejrforhold, og frekvensen nedsættes med tiden.

Den første totalmåling bør foretages i starten af 2011. I kombination med biocoverprojektets tre totalmålinger i perioden april-juni 2010, samt planlagte målinger i efteråret 2011 og i sommeren 2012, bør både spredningen og antallet af totalmålinger i den indledende periode være tæt på det optimale.

De samlede udgifter til monitoringsarbejdet fremgår af Tabel 10.1. Omkostningerne beløber sig til 740.000 DKK med den forudsætning, at den tilsynsførende myndighed accepterer, at hyppigheden af monitoringsarbejdet sænkes med tiden. Det anbefales, at planen tages op til revision i takt med, at erfaringerne med biocover-teknologien udbygges.

Monitoringsplan			
Monitorering år 0-2			
Monitorering/ aktivitet	antal	pris pr. måling (DKK)	samlet pris (DKK)
Overfladescreening (FID)	2	6.000	12.000
Totalmåling	3	40.000	120.000
Udgift			132.000
Monitorering år 3-10			
Monitorering/ aktivitet	antal	pris pr. måling (DKK)	samlet pris (DKK)
Overfladescreening (FID)	8	6.000	48000
Totalmåling	4	40.000	160000
Udgift			208.000
Monitorering år 11-30			
Monitorering/ aktivitet	antal	pris pr. måling (DKK)	samlet pris (DKK)
Overfladescreening (FID)	20	6.000	120000
Totalmåling	7	40.000	280000
Udgift			400.000
Samlet udgift			740.000

Tabel 10.1. Beregning af de samlede udgifter til det opfølgende monitoringsarbejde på etape 0.

Tidsplan: I de første to år udføres efter vinter en fysisk besigtigelse/overfladescreening af biocoveret med en FID-analyser. Herudover foretages 3 totalmålinger (vinter 2011, efterår 2011, sommer 2012). I de følgende otte år (år 3-10) foretages efter hver vinter en fysisk besigtigelse/overfladescreening af biocoveret som beskrevet ovenfor. Herudover foretages en enkelt totalmåling under stabile vejrforhold hvert andet år. I de sidste 20 år af efterbehandlingsperioden foretages en årlig overfladescreening, mens totalmålingerne foretages i år 12 af monitoringsperioden og derefter hvert tredje år.

11 Referenceliste

- Barlaz, M.A., Green, R.B., Chanton, J.P., Goldsmith, C.D., Hater, G.R., 2004. Evaluation of a biologically active cover for mitigation of landfill gas emissions. *Environmental Science and Technology* 38, 4891-4899.
- Christensen, T.H., Affaldsteknologi. Teknisk Forlag A/S, 1998
- Dever, S.A., 2009. Passive drainage and biofiltration of landfill gas: Behaviour and performance in a temperate climate. Dissertation 1-448. 30-3-2009. Sydney, Australia, School of Civil and Environmental Engineering, University of New South Wales.
- Einola, J., Sormunen, K., Lensu, A., Leiskallio, A., Ettala, M., Rintala, J., 2009. Methane oxidation at a surface-sealed boreal landfill. *Waste Management* 29, 2105-2120.
- Estimeret gasproduktion på etape 1 og 2, april 2008. Rambøll.
- Fredenslund, A. M., Scheutz, C., Kjeldsen, P., 2010. Tracer method to measure landfill gas emissions from leachate collection systems. *Waste Management*, 30, 2146-2152.
- Galle, B., Samuelsson, J., Svensson, B., Borjesson, G., 2001. Measurements of CH₄ emissions from landfills using a time correlation tracer method based on FTIR absorption spectroscopy. *Environmental Science and Technology* 35 (1), 21-25.
- Huber-Humer, M., 2004. Abatement of Landfill Methane Emissions by Microbial Oxidation in Biocovers Made of Compost. Ph.D. Thesis. University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Institute of Waste Management, Vienna, Austria.
- Humer M., Lechner, P., 1999a. Alternative approach to the elimination of greenhouse gases from old landfills. *Waste Management and Research*, 17, 443-452.
- Humer, M., Lechner, P., 2001. Design of a landfill cover to enhance methane oxidation-results of a two year field investigation. Pages 541-550 in Christensen, T. H., R. Cossu, and R. Stegmann editors. Eight International Waste Management and Landfill Symposium. CISA, Cagliari, Italy.
- Kjeldsen, P. Fredenslund, A.M., Scheutz, C. and Lemming, G.(2007): Engineered Biocovers - Passive Mitigation Systems for Landfill Gas: Status for the demonstration project, BIOCOVER. In: Lechner, P.(Ed.): Waste matters. Integrated views, 2nd BOKU Waste Conference, pp 133-142.
- Klintholm - deponigas. Prøvepumpningsrapport, marts 1998, Krüger A/S
- Miljøstyrelsen. Vejledning om oprydning på forurenede lokaliteter, nr. 6 og 7, 1998.
- Miljøstyrelsen (2007): Omkostningseffektive tiltag i de ikke-kvotebelagte sektorer. Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen nr. 22. Miljøstyrelsen, København.
- Oplysninger modtaget pr. mail fra Klintholm I/S, Jørgen Henrik B. Jørgensen, februar 2008
- Overgangsplan for deponeringsanlæg, 2002. Klintholm I/S. Jørgen Henrik B. Jørgensen og Steffen Magelund
- Pedersen, G. B., Scheutz, C., Kjeldsen, P., 2010. Availability and properties of materials for the Fakse Landfill biocover. *Waste Management*. In press. Doi:10.1016/j.wasman.2010.11.020.
- Pedersen GB, Scheutz C, Kjeldsen P., 2011a. Field study on a biocover window at Fakse Landfill, Denmark I: Short term dynamics and seasonal changes in methane emission. Science of the Total Environment. Submitted for publication June 2010.

Pedersen GB, Scheutz C, Pedicone, A., Chanton, J.P., Kjeldsen P., 2011b. Field study on a biocover window at Fakse Landfill, Denmark II: Methane oxidation. *Science of the Total Environment*. Submitted for publication June 2010.

Scheutz, C., Pedicone, A., Pedersen, G.B., Kjeldsen, P. (2011a): Evaluation of respiration in compost landfill biocovers intended for methane oxidation. *Waste Management*. In press.

Scheutz, C., Samuelsson, J., Fredenslund, A. M., Kjeldsen, P. (2011b). Methane emission quantification from landfills using a double tracer approach. *Waste Management*. In press.

Scheutz, C., Kjeldsen, P., Bogner, J., De Visscher, A., Gebert, J., Hilger, H., Huber-Humer, M., Spokas, K. (2009a): Microbial methane oxidation processes and technologies for mitigation of landfill gas emissions. *Waste Management & Research*. 27, 409-455.

Scheutz, C., Pedersen, G.B., Costa G., Kjeldsen P. (2009b): Biodegradation of Methane and Halocarbons in Simulated Landfill Biocover Systems Containing Compost Materials. *Journal of Environmental Quality* 38, 1363-1371.

Scheutz, C., Bogner, J., Chanton, J.P., Blake, D., Morcet, M., Aran, C. & Kjeldsen, P. (2008): Atmospheric emissions and attenuation of non-methane organic compounds in cover soils at a French landfill. *Waste Management*, 28, 1892-1908.

Scheutz, C., Bogner, J., Chanton, J., Blake, D., Kjeldsen, P. (2003): Comparative oxidation and net emissions of CH₄ and selected non-methane organic compounds in landfill cover soils. *Environmental Science and Technology*. 37 (22), 5150-5158.

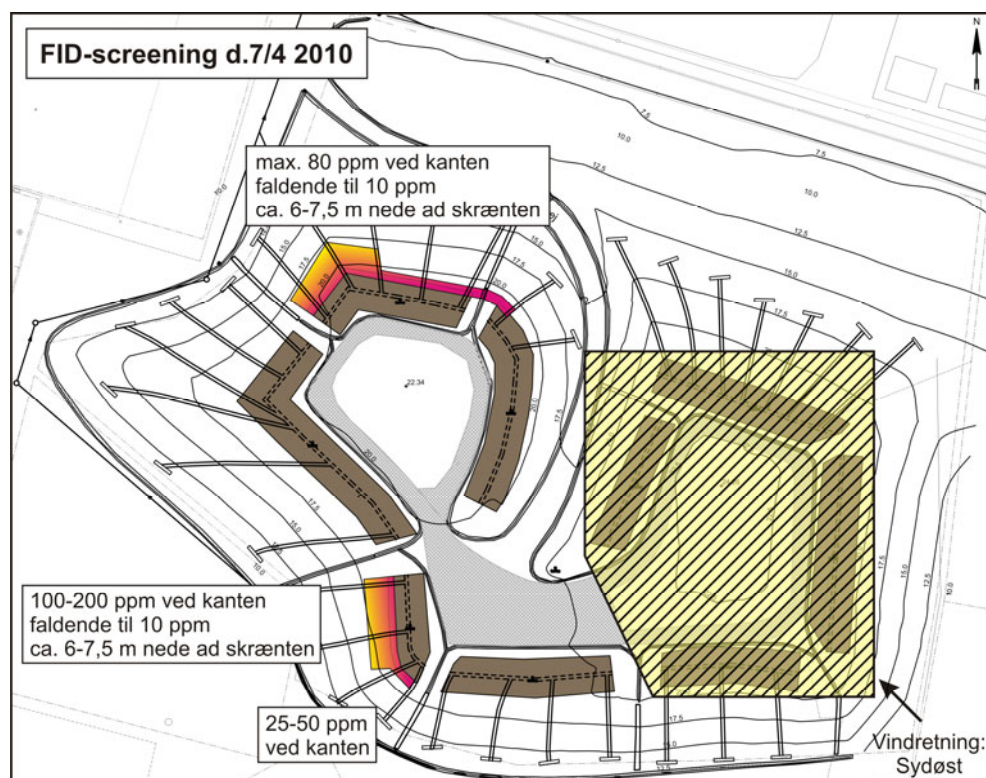
Scheutz, C., Fredenslund, A.M., Samuelsson, J., Jacobs, J., Scharff, H., Hensen, A. and Kjeldsen, P. (2007): Whole landfill methane emission, Report on activity 3.2 in the BIOCOVER project, Institute of Environment & Resources, DTU, Kgs. Lyngby, Denmark.

Standard methods, 1998

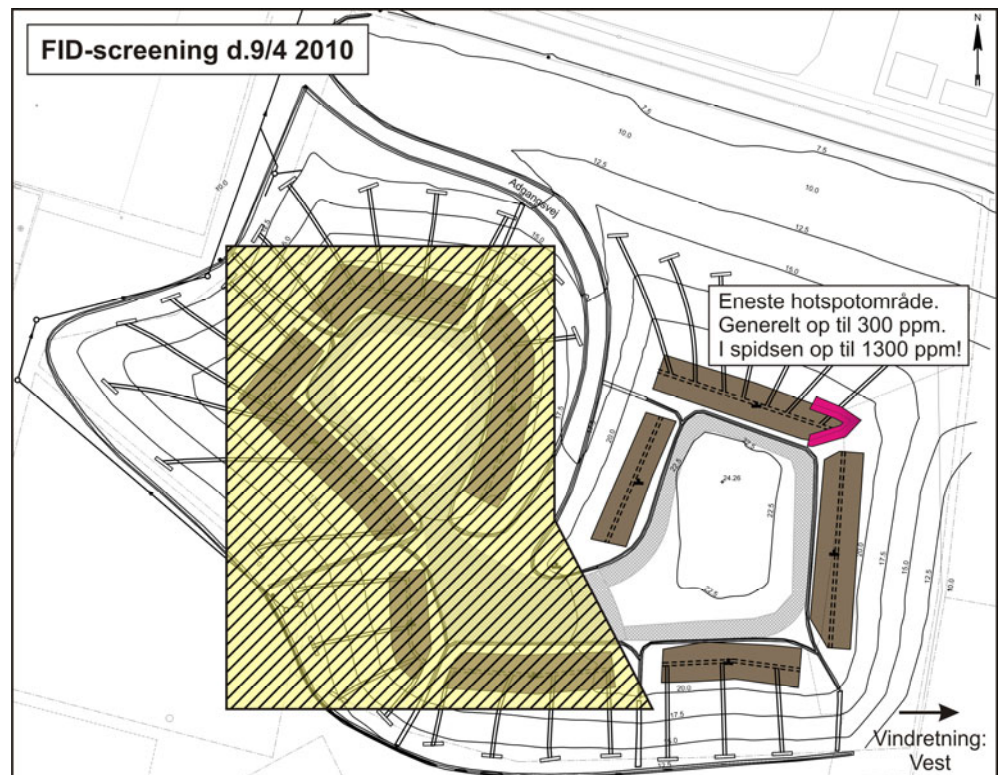
Stern J.C., Chanton, J., Abichou T, Powelson, D., Yuan, L., Escoriza, S. and Bogner, J. (2007): Use of a biologically active cover to reduce landfill methane emissions and enhance methane oxidation. *Waste Management* 27 (9), 1248-1258.

1 FID-screeninger

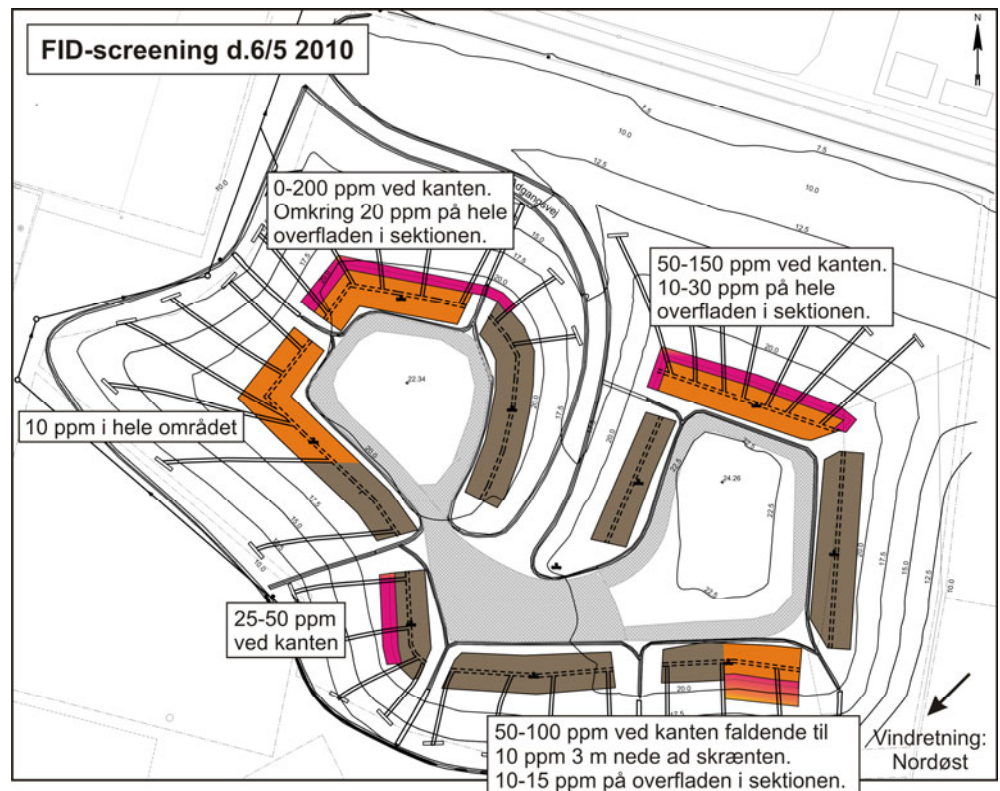
Dette bilag indeholder grafiske gengivelser af fire overscreeninger udført på etape 0 som en del af monitoringsplanen i løbet af foråret 2010. Screeningerne blev udført med en håndholdt Photovac MicroFID analyser, der kan måle metan i koncentrationsintervallet fra 0,5 til 2500 ppmv. Barometertrykkets indvirkning på overfladeemissionerne af metan fremgår ved at sammenholde de enkelte figurer med trykudviklingen i tidsrummet for den pågældende screening. Vejrdata kan findes i bilag B.



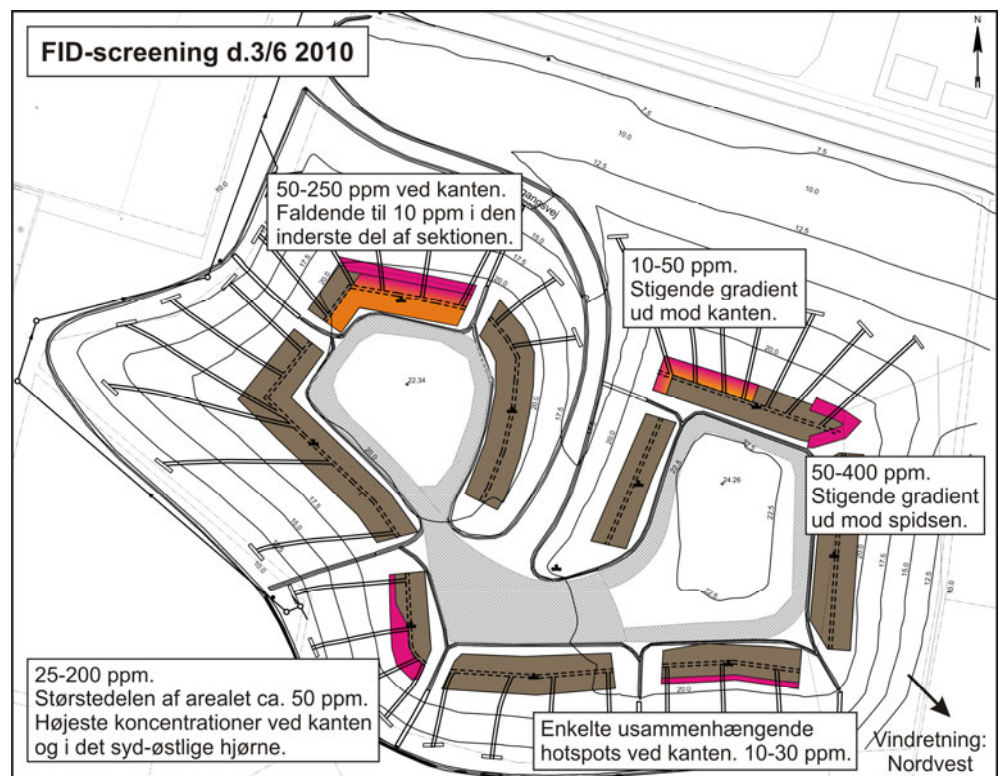
Figur 1.1. Illustration af FID-screening d. 7. april 2010. Screening er foretaget på et tidspunkt med svagt faldende barometertryk efter passagen af et højtryk. Der blev ikke screenet i det gule skraverede område.



Figur 1.2. Illustration af FID-screening d. 9. april 2010. Screeningen er foretaget på et tidspunkt med svagt stigende barometertryk. Der blev ikke screenet i det gule skraverede område. Det eneste registrerede hotspotområde (i sektion 7) er sammenfaldende med en konstruktionsfejl i biocoveret – en niveauforskel i kompostlaget imellem sektion 7 og 8. Denne fejl er udbedret i juli 2010.



Figur 1.3. Illustration af FID-screeningen d. 6. maj 2010. Screeningen er foretaget under faldende trykforhold. Ved sammenligning med FID-screeningen udført d. 7. april (se Figur 1.1), der er foretaget under mere stabile trykforhold, ses et mere omfattende emissionsmønster.

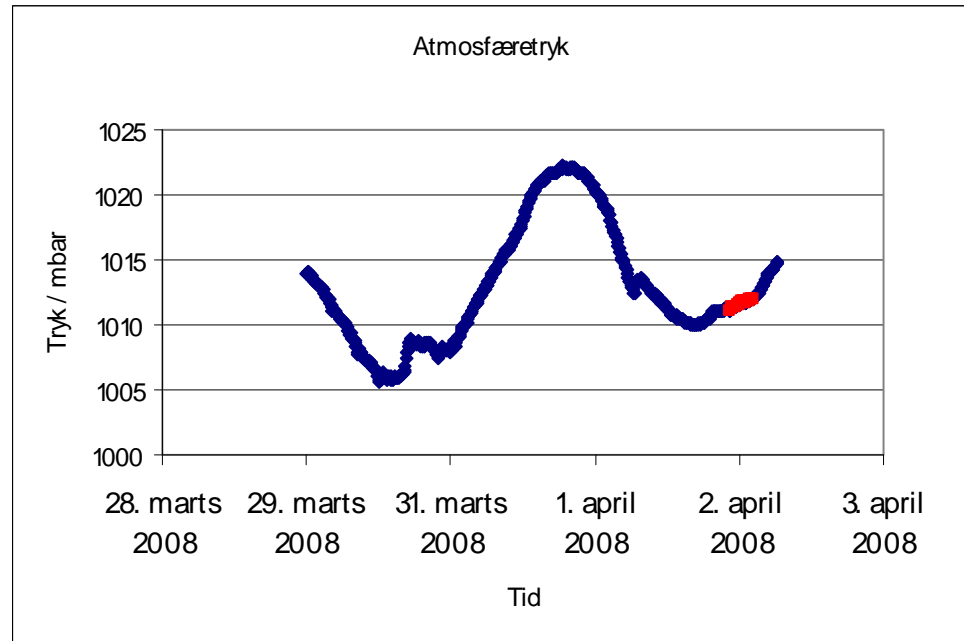


Figur 1.4. Illustration af FID-screening d. 3. juni 2010. Screeningen er foretaget under faldende trykforhold efter en længere periode med stigende barometertryk.

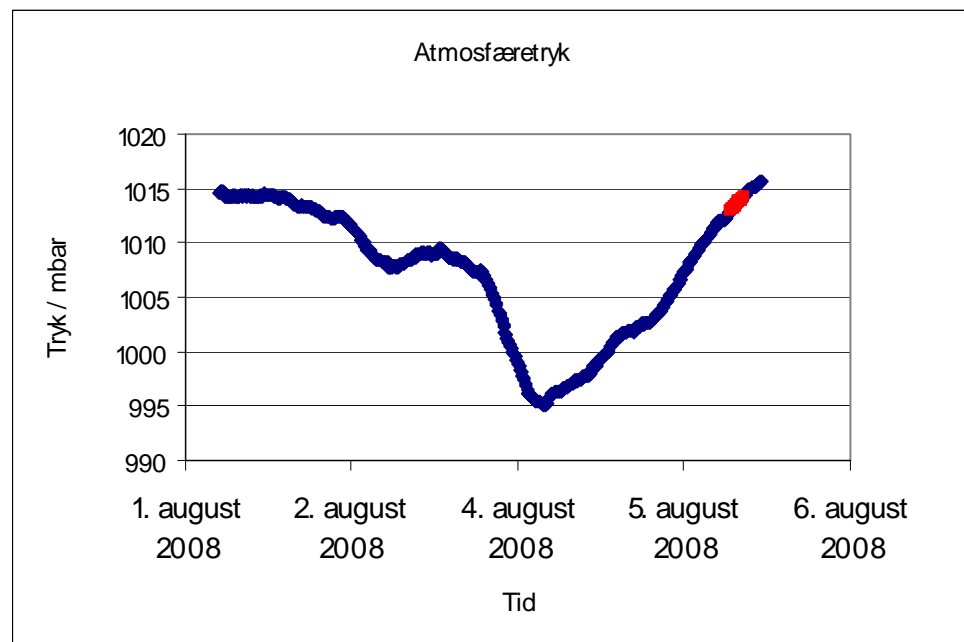
1 Vejrdata

Dette bilag indeholder vejrdata fra vejrstationen på Klintholm I/S og fra DMI's nærmest beliggende vejrstation i Årslev (stat_no. 06126). Afsnit 2 indeholder figurer, der afbilder de barometriske trykforhold omkring prøvetagningstidspunkterne. De i figurene anvendte værdier for atmosfæretrykket stammer enten fra vejrstationen på Klintholm I/S eller DMI's målestation i Årslev.

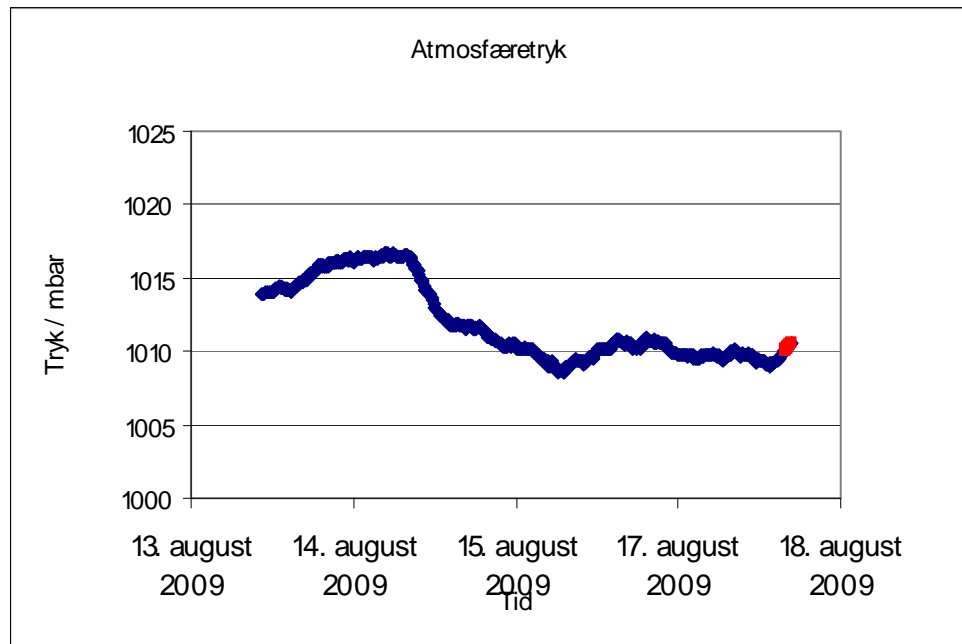
2 Trykforhold på prøvetagningstidspunkterne



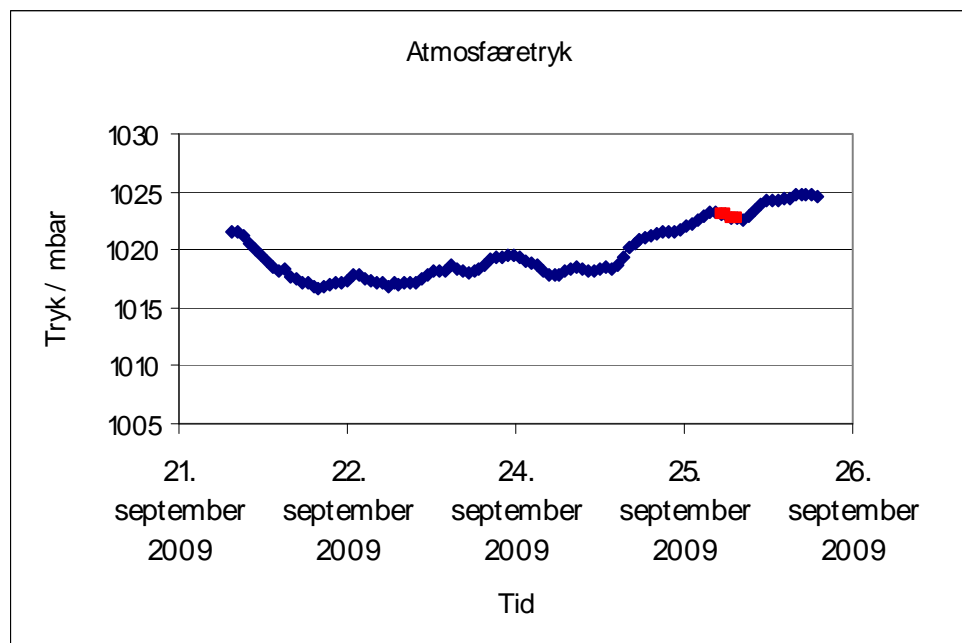
Figur 2.1. Atmosfæretrykket i dagene op til Totalmålingen d. 2. april 2008. Tidspunktet for totalmålingen er markeret med rødt. Data stammer fra DMI's målestation ved Årslev (stat_no. 06126).



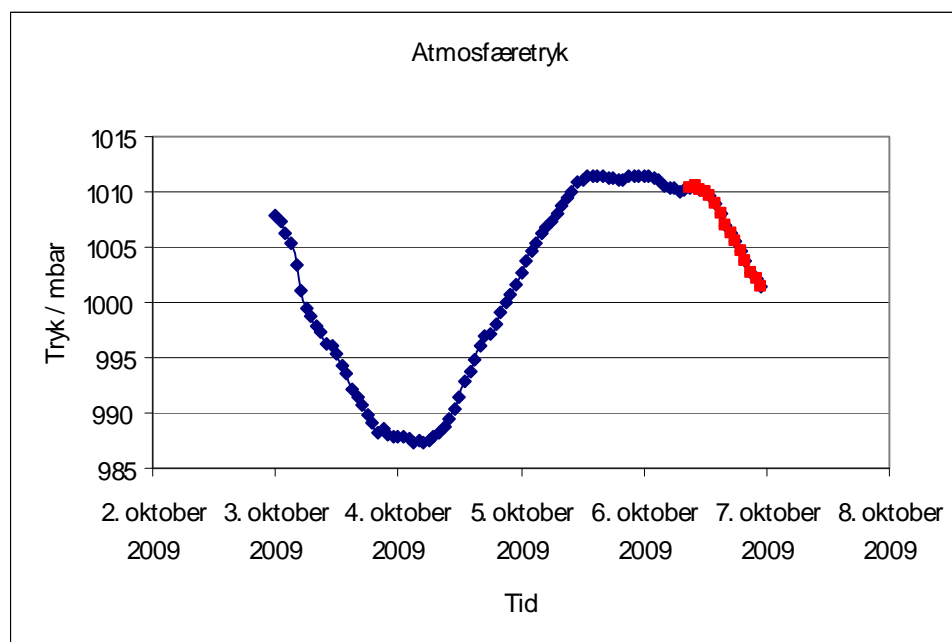
Figur 2.2. Atmosfæretrykket i dagene op til Totalmålingen d. 5. august 2008. Tidspunktet for totalmålingen er markeret med rødt. Data stammer fra DMI's målestation ved Årslev (stat_no. 06126).



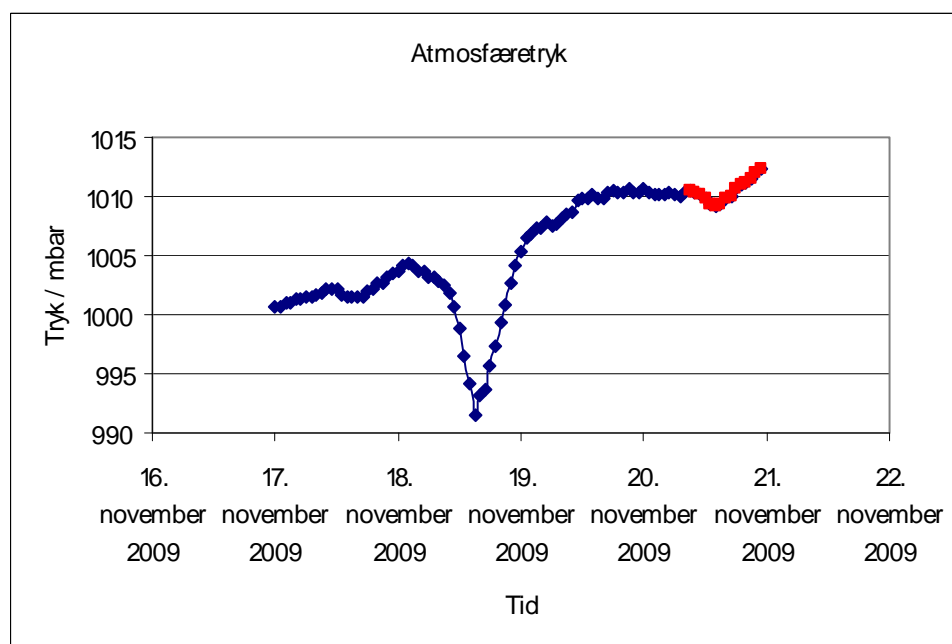
Figur 2.3. Atmosfæretrykket i dagene op til Totalmålingen d. 17. august 2009. Tidspunktet for totalmålingen er markeret med rødt. Data stammer fra DMI's målestation ved Årslev (stat_no. 06126).



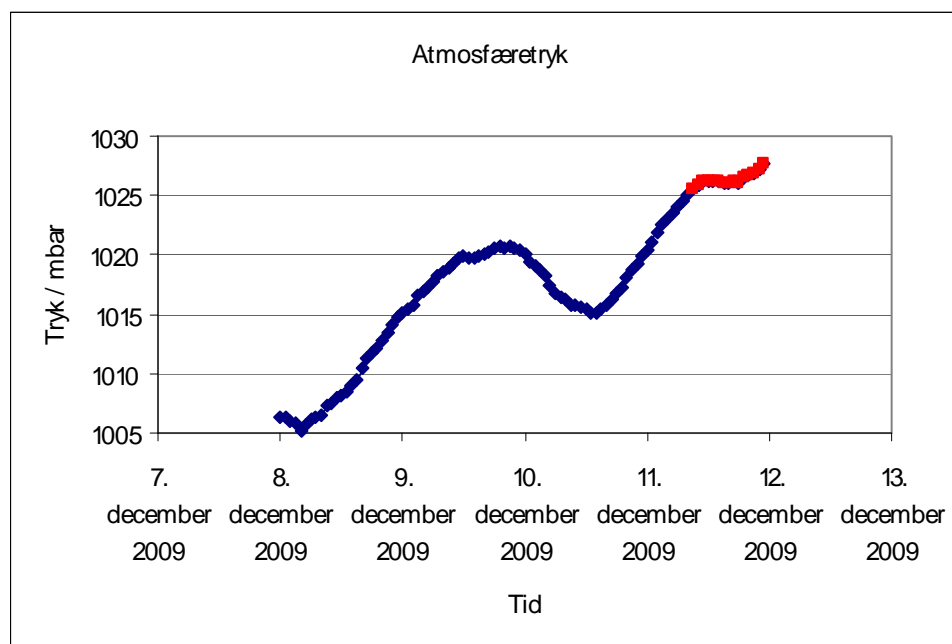
Figur 2.4. Atmosfæretrykket i dagene op til Totalmålingen d. 25. september 2009. Tidspunktet for totalmålingen er markeret med rødt. Data stammer fra DMI's målestation ved Årslev (stat_no. 06126).



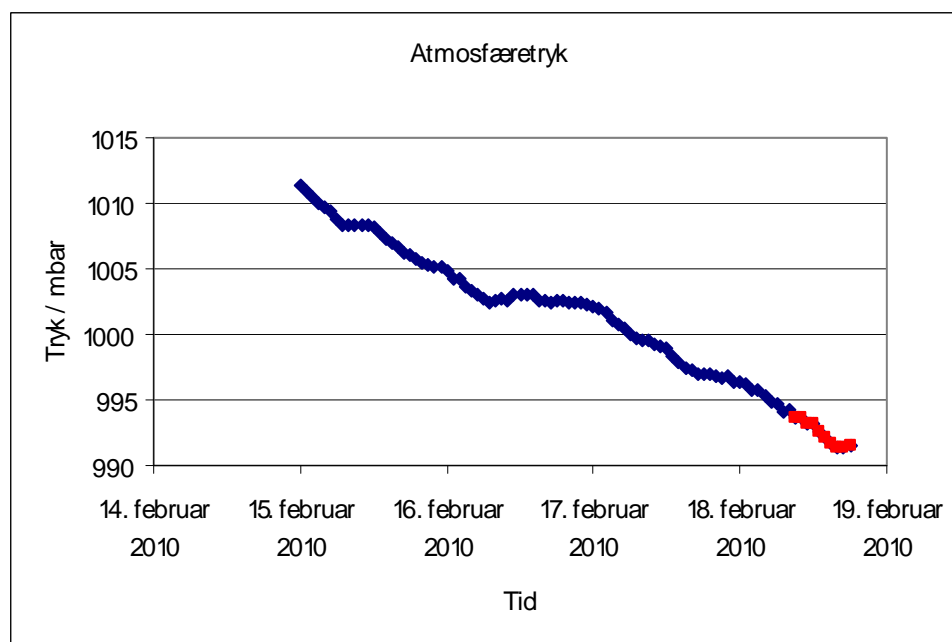
Figur 2.5. Atmosfæretrykket i dagene op til prøvetagningerne d. 6. oktober 2009. Prøvetagningstidspunktet er markeret med rødt. Data stammer fra vejrstationen på Klintholm.



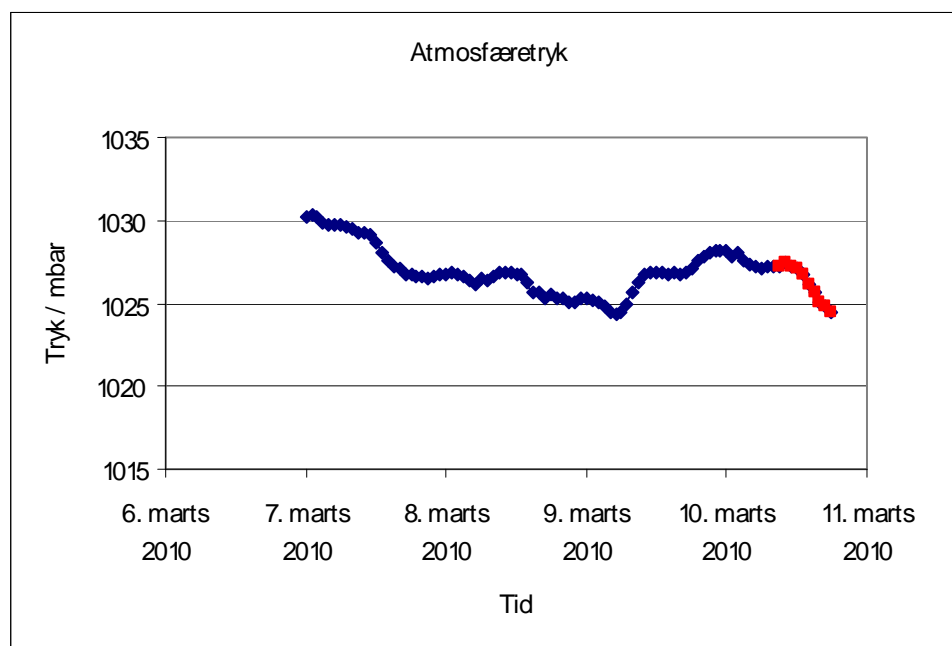
Figur 2.6. Atmosfæretrykket i dagene op til prøvetagningerne d. 20. november 2009. Prøvetagningstidspunktet er markeret med rødt. Data stammer fra vejrstationen på Klintholm.



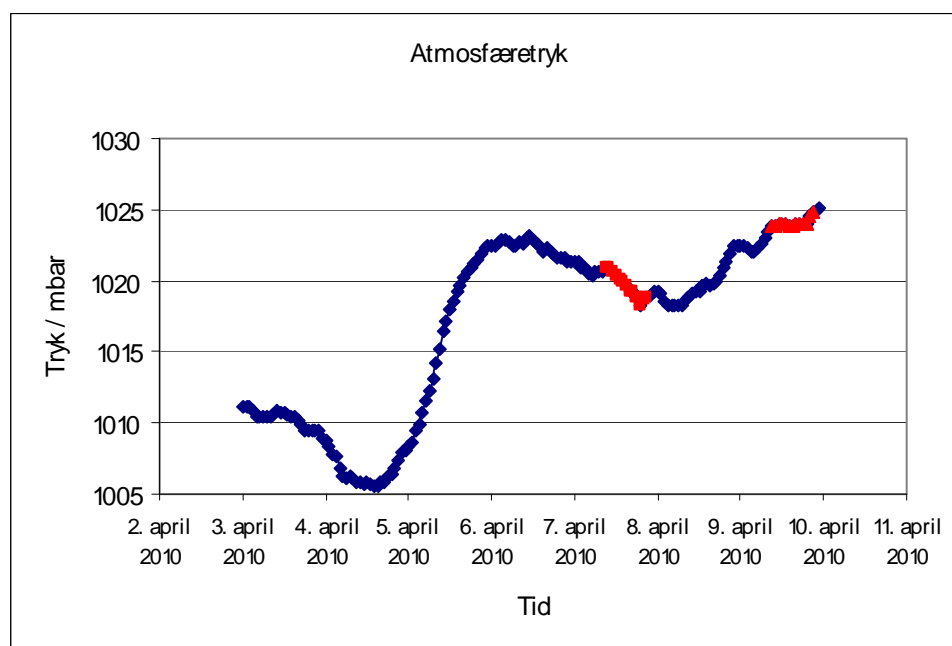
Figur 2.7. Atmosfæretrykket i dagene op til prøvetagningerne d. 11. december 2009. Prøvetagningstidspunktet er markeret med rødt. Data stammer fra vejrstationen på Klintholm.



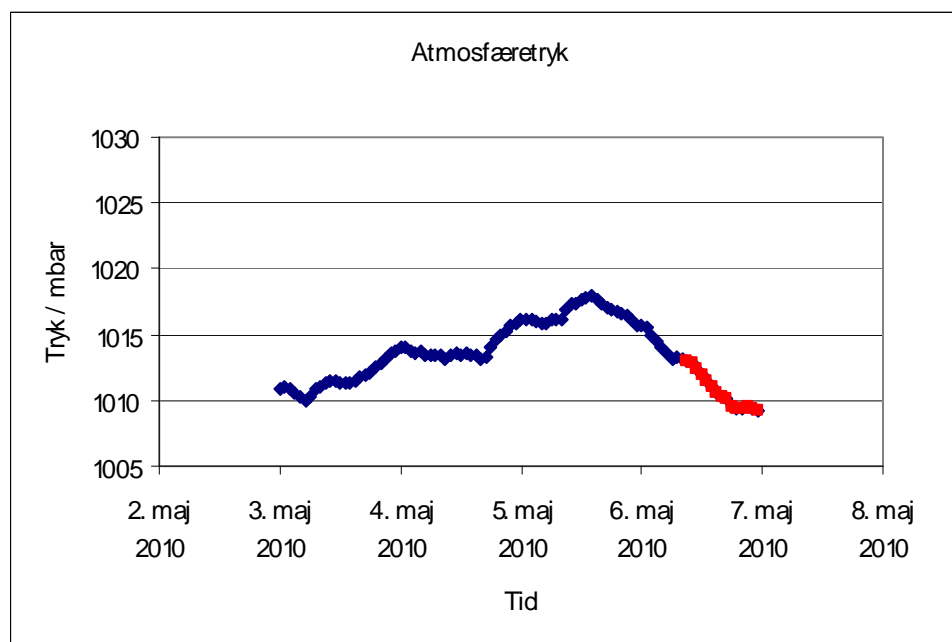
Figur 2.8. Atmosfæretrykket i dagene op til prøvetagningerne d. 18. februar 2010. Prøvetagningstidspunktet er markeret med rødt. Data stammer fra vejrstationen på Klintholm.



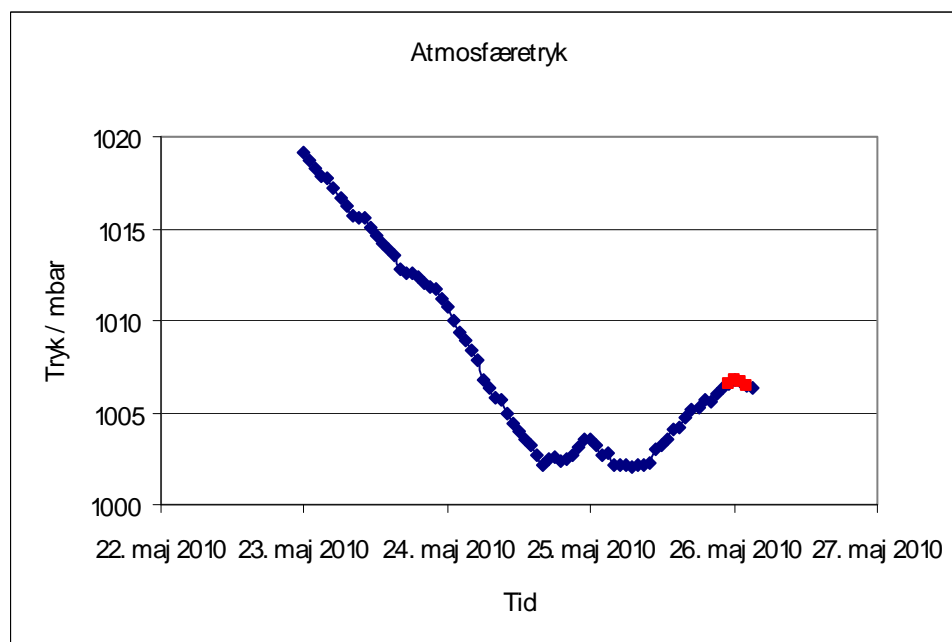
Figur 2.9. Atmosfæretrykket i dagene op til prøvetagningerne d. 10. marts 2010. Prøvetagningstidspunktet er markeret med rødt. Data stammer fra vejrstationen på Klintholm.



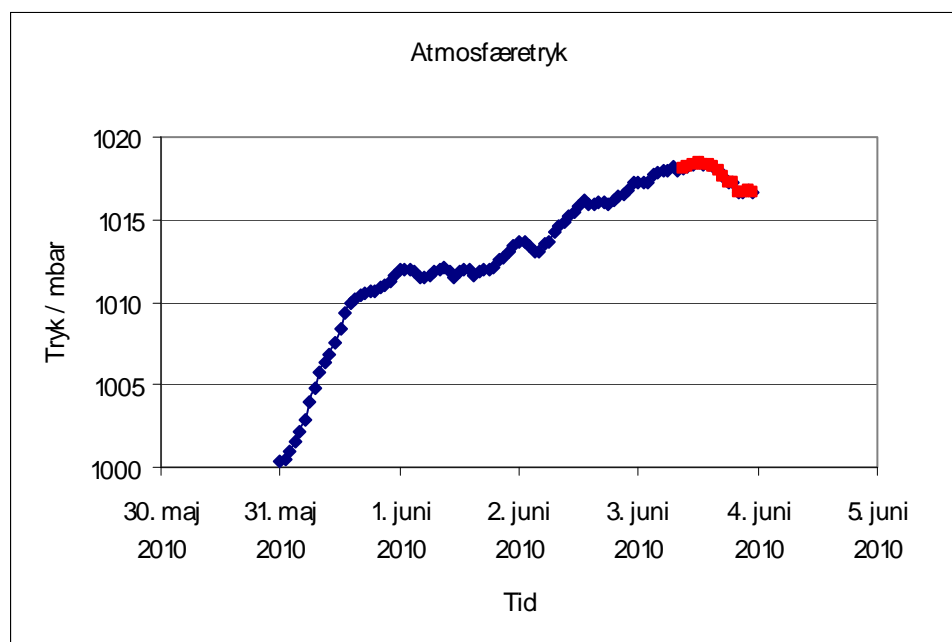
Figur 2.10. Atmosfæretrykket i dagene omkring prøvetagningerne d. 7. & 9. april 2010. Prøvetagningstidspunkterne er markeret med rødt. Data stammer fra vejrstationen på Klintholm.



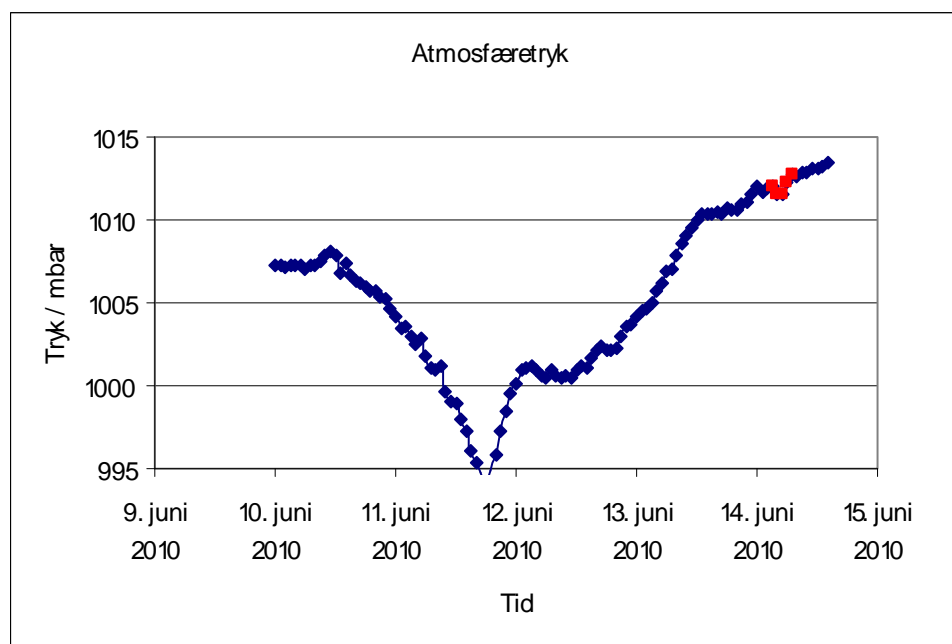
Figur 2.11. Atmosfæretrykket i dagene op til prøvetagningerne d. 6. maj 2010. Prøvetagningstidspunktet er markeret med rødt. Data stammer fra vejrstationen på Klintholm.



Figur 2.12. Atmosfæretrykket i dagene op til Totalmålingen d. 26. maj 2010. Tidspunktet for totalmålingen er markeret med rødt. Data stammer fra vejrstationen på Klintholm.



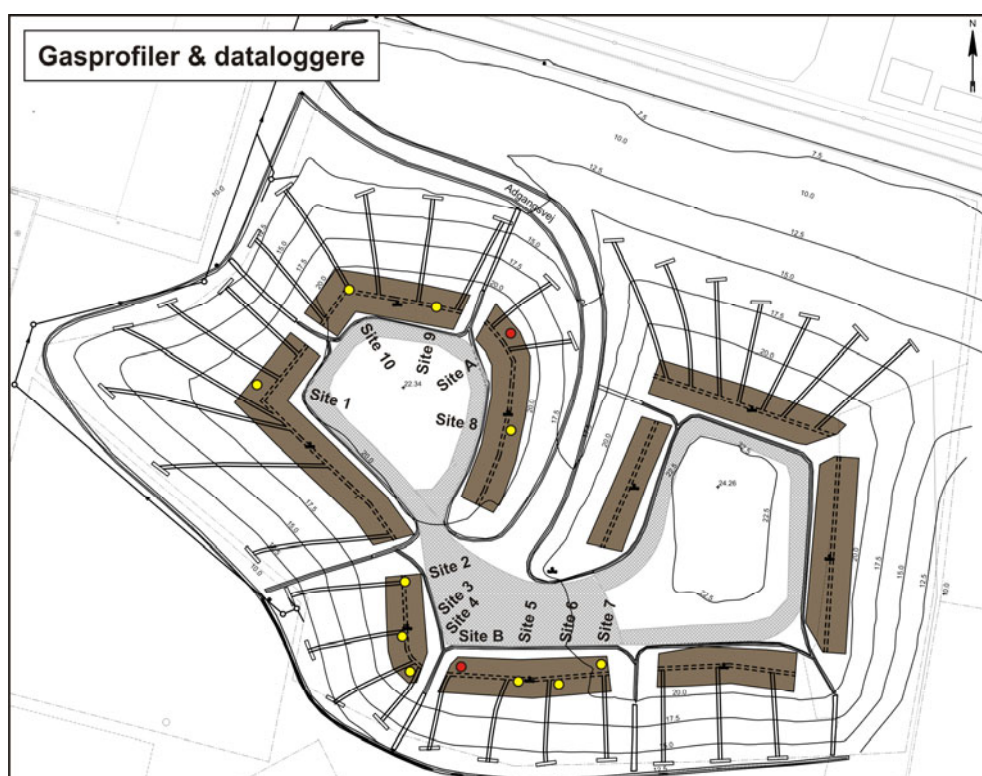
Figur 2.13. Atmosfæretrykket i dagene op til prøvetagningerne d. 3. juni 2010. Prøvetagningstidspunktet er markeret med rødt. Data stammer fra vejrstationen på Klintholm.



Figur 2.14. Atmosfæretrykket i dagene op til Totalmålingen d. 14. juni 2010. Tidspunktet for totalmålingen er markeret med rødt. Data stammer fra vejrstationen på Klintholm.

1 Gasprofiler i Biocover

Dette bilag indeholder samtlige gasprofiler fra de 12 installerede gasprobessæt på biocoveret (site 1-10 + A & B). Placeringen af gasprobessættene fremgår af Figur 1.1. Der er udtaget gasprøver i alt 8 gange i løbet af monitoringsperioden. Første gang d. 6. oktober 2009 og sidste gang d. 3. juni 2010. For de to gasprobessæt installeret umiddelbart ved datalogger A og B er der dog kun prøvetaget d. 6. maj og d. 3. juni 2010. I enkelte tilfælde har det ikke været muligt at udtage gasprøver - typisk fra de dybe prøber i 60 og 70 cm's dybde. Dette vil kunne ses som tomme felter i tabellerne.



Figur 1.1. Placeringen af gasprobessæt (gule markeringer) og dataloggere (røde markeringer) på Biocoveret. Udover de ti oprindelige gasprobessæt, der er vist på tegningen, blev der d. 6. maj 2010 opsat yderligere to sæt (A og B) i direkte tilknytning til de to dataloggere.

Gasprofiler - Site 1											
06.10.2009	% v/v					CH ₄ /CO ₂					
	cm	O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂						
	10	6,0	72,0	5,0	14,2	0,4					
	20	0,4	71,6	6,3	19,3	0,3					
	40	0,2	69,1	7,6	17,8	0,4					
	60	0,0	68,6	9,9	20,5	0,5					
	70	0,0	67,9	9,3	19,3	0,5					
20.11.2009	% v/v					CH ₄ /CO ₂					
	cm	O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂						
	10	1,4	63,4	15,4	20,1	0,8					
	20	1,9	64,2	14,3	18,7	0,8					
	40	1,5	64,9	13,9	20,7	0,7					
	60	1,4	65,4	13,1	18,2	0,7					
	70	1,4	66,0	12,2	18,3	0,7					
11.12.2009	% v/v					CH ₄ /CO ₂					
	cm	O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂						
	10	22,7	70,9	0,0	6,8	0,0					
	20	12,9	71,9	0,0	15,8	0,0					
	40	3,5	76,3	0,9	19,4	0,0					
	60	2,6	71,6	5,2	20,8	0,2					
	70	2,2	70,2	9,7	20,5	0,5					
18.02.2010	% v/v					CH ₄ /CO ₂					
	cm	O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂						
	10	20,7	79,0	0,0	1,8	0,0					
	20	15,4	77,0	0,0	6,6	0,0					
	40	6,5	79,4	0,0	15,0	0,0					
	60	10,4	75,8	3,0	10,3	0,3					
	70	7,6	65,3	12,8	14,1	0,9					
10.03.2010	% v/v					CH ₄ /CO ₂					
	cm	O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂						
	10	18,7	81,5	0,4	3,3	0,1					
	20	14,2	83,7	0,0	6,9	0,0					
	40	6,3	84,5	0,0	13,2	0,0					
	60	10,6	81,5	1,9	10,6	0,2					
	70	6,2	72,4	8,3	15,9	0,5					
07.04.2010	% v/v					CH ₄ /CO ₂					
	cm	O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂						
	10	15,0	80,3	0,5	5,2	0,1					
	20	6,5	83,9	0,2	10,9	0,0					
	40	0,7	80,3	3,5	16,3	0,2					
	60	9,9	76,3	4,8	10,5	0,5					
	70	11,2	74,2	6,1	10,3	0,6					
06.05.2010	% v/v					CH ₄ /CO ₂					
	cm	O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂						
	10	19,1	77,1	0,4	2,6	0,2					
	20	10,9	79,8	0,0	9,9	0,0					
	40	3,3	80,9	0,0	16,0	0,0					
	60										
	70										
03.06.2010	% v/v					CH ₄ /CO ₂					
	cm	O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂						
	10	18,6	76,2	0,2	3,9	0,1					
	20	14,8	78,6	0,0	9,5	0,0					
	40	7,2	76,4	0,0	18	0,0					
	60										
	70										

Tabel 1.1. Gasprofiler for site 1 for perioden 6.okt. 2009 – 3.juni 2010.

Gasprofiler - Site 2											
06.10.2009	cm	% v/v				CH ₄ /CO ₂					
		O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂						
	10	4,6	74,2	4,8	14,9	0,3					
	20	0,2	65,6	12,5	20,6	0,6					
	40	0,1	49,0	28,3	22,3	1,3					
	60	0,0	46,7	28,2	19,8	1,4					
	70	0,0	43,9	33,9	22,7	1,5					
20.11.2009	cm	% v/v				CH ₄ /CO ₂					
		O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂						
	10	19,2	77,2	1,0	0,6	1,6					
	20	7,1	79,7	2,3	11,8	0,2					
	40	3,9	79,2	3,0	14,6	0,2					
	60	3,3	79,1	2,4	15,1	0,2					
	70	0,7	79,6	2,1	17,4	0,1					
11.12.2009	cm	% v/v				CH ₄ /CO ₂					
		O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂						
	10	22,2	77,9	0,3	1,4	0,2					
	20	0,9	62,3	17,7	19,7	0,9					
	40	1,0	54,8	23,5	21,1	1,1					
	60	2,1	52,0	25,6	20,3	1,3					
	70	3,7	53,3	24,4	20,1	1,2					
18.02.2010	cm	% v/v				CH ₄ /CO ₂					
		O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂						
	10	12,1	81,8	1,7	4,9	0,3					
	20	1,4	63,1	18,6	16,9	1,1					
	40	0,1	51,1	28,4	19,8	1,4					
	60	2,7	54,2	25,4	17,5	1,5					
	70	3,1	54,1	25,0	17,1	1,5					
10.03.2010	cm	% v/v				CH ₄ /CO ₂					
		O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂						
	10	8,6	75,6	7,1	11,9	0,6					
	20	1,8	70,1	14,0	18,4	0,8					
	40	1,3	64,3	19,3	18,5	1,0					
	60	4,1	64,0	18,9	16,0	1,2					
	70	1,8	60,8	21,3	17,9	1,2					
07.04.2010	cm	% v/v				CH ₄ /CO ₂					
		O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂						
	10	16,6	81,0	0,1	5,4	0,0					
	20	0,9	77,6	5,4	19,3	0,3					
	40	16,7	75,2	2,3	5,9	0,4					
	60	2,5	64,0	17,9	17,7	1,0					
	70	1,1	58,9	22,0	19,4	1,1					
06.05.2010	cm	% v/v				CH ₄ /CO ₂					
		O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂						
	10	13,2	76,2	0,5	9,8	0,1					
	20	3,2	76,3	5,1	17,7	0,3					
	40	0,9	70,6	10,2	20	0,5					
	60	3,8	71,7	8,5	17,2	0,5					
	70	0,5	70,1	11	20,6	0,5					
03.06.2010	cm	% v/v				CH ₄ /CO ₂					
		O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂						
	10	20,4	78,1	0,0	3,2	0,0					
	20	11,1	75,4	0,0	14,7	0,0					
	40	1,9	78	0,2	21,2	0,0					
	60	2,7	74,8	3,2	19,6	0,2					
	70	0,2	70,3	8,4	22,7	0,4					

Tabel 1.2. Gasprofiler for site 2 for perioden 6.okt. 2009 – 3.juni 2010.

Gasprofiler - Site 3											
06.10.2009	cm	% v/v				CH ₄ /CO ₂					
		O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂						
	10	17,0	77,9	0,2	2,2	0,1					
	20	15,1	78,9	0,1	6,1	0,0					
	40	1,2	79,1	0,1	18,5	0,0					
	60	0,4	75,7	4,1	20,5	0,2					
	70	0,1	71,2	8,0	19,6	0,4					
20.11.2009	cm	% v/v				CH ₄ /CO ₂					
		O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂						
	10	15,5	77,8	0,1	4,6	0,0					
	20	15,0	78,8	0,0	5,3	0,0					
	40	4,9	78,7	0,3	15,8	0,0					
	60	0,1	78,4	4,1	19,1	0,2					
	70	0,5	73,0	6,8	20,0	0,3					
11.12.2009	cm	% v/v				CH ₄ /CO ₂					
		O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂						
	10	21,8	80,0	0,0	1,1	0,0					
	20	21,0	79,9	0,2	1,8	0,1					
	40	15,6	80,3	0,0	8,4	0,0					
	60	5,0	75,1	4,6	17,5	0,3					
	70	0,3	71,0	7,7	21,2	0,4					
18.02.2010	cm	% v/v				CH ₄ /CO ₂					
		O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂						
	10	20,2	80,0	0,1	0,8	0,1					
	20	14,7	80,7	0,0	4,6	0,0					
	40	4,6	81,2	0,0	14,8	0,0					
	60										
	70										
10.03.2010	cm	% v/v				CH ₄ /CO ₂					
		O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂						
	10	19,9	81,4	0,2	1,4	0,1					
	20	16,7	83,5	0,0	3,4	0,0					
	40	3,2	87,9	0,6	12,8	0,0					
	60										
	70										
07.04.2010	cm	% v/v				CH ₄ /CO ₂					
		O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂						
	10										
	20	15,3	81,2	0,1	3,4	0,0					
	40	1,0	84,8	1,3	14,4	0,1					
	60										
	70										
06.05.2010	cm	% v/v				CH ₄ /CO ₂					
		O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂						
	10	21,2	78,0	0,0	0,8	0,0					
	20	19,6	78,1	0,0	3,0	0,0					
	40	11,5	75,7	0,0	14,2	0,0					
	60										
	70										
03.06.2010	cm	% v/v				CH ₄ /CO ₂					
		O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂						
	10	18,4	78,1	0,0	3,1	0,0					
	20	16,8	78,4	0,0	4,9	0,0					
	40	6,6	79,2	0,0	15,0	0,0					
	60										
	70										

Tabel 1.3. Gasprofiler for site 3 for perioden 6.okt. 2009 – 3.juni 2010.

Gasprofiler - Site 4													
06.10.2009		% v/v					10.03.2010		% v/v				
	cm	O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂	CH ₄ /CO ₂		cm	O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂	CH ₄ /CO ₂
	10	6,5	74,7	6,9	12,8	0,5		10	20,1	82,7	0,0	1,1	0,0
	20	1,0	71,3	11,5	17,7	0,7		20	17,5	82,6	0,0	2,3	0,0
	40	1,0	66,6	15,6	18,0	0,9		40	13,2	86,3	0,0	4,9	0,0
	60	1,3	62,2	18,6	18,4	1,0		60					
	70	0,0	59,9	21,2	20,4	1,0		70					
20.11.2009		% v/v					07.04.2010		% v/v				
	cm	O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂	CH ₄ /CO ₂		cm	O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂	CH ₄ /CO ₂
	10	20,7	77,2	0,0	1,7	0,0		10	14,5	83,6	0,0	2,3	0,0
	20	20,2	76,1	0,0	2,7	0,0		20	5,0	91,3	0,0	5,2	0,0
	40	15,9	77,4	0,0	6,3	0,0		40	1,7	89,9	1,2	8,0	0,2
	60	15,7	78,5	0,0	7,5	0,0		60					
	70	9,5	80,1	0,4	9,9	0,0		70					
11.12.2009		% v/v					06.05.2010		% v/v				
	cm	O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂	CH ₄ /CO ₂		cm	O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂	CH ₄ /CO ₂
	10	20,1	79,0	0,0	2,5	0,0		10	20,9	78,5	0,0	0,8	0,0
	20	19,0	78,4	0,0	4,0	0,0		20	20,2	77,6	0,0	2,5	0,0
	40	17,7	78,4	0,0	6,2	0,0		40	18,9	77,1	0,0	5,1	0,0
	60	14,6	77,6	0,0	8,6	0,0		60					
	70	14,1	78,1	0,8	9,1	0,1		70					
18.02.2010		% v/v					03.06.2010		% v/v				
	cm	O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂	CH ₄ /CO ₂		cm	O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂	CH ₄ /CO ₂
	10	21,5	79,0	0,0	0,5	0,0		10	14,2	80,1	0,0	6,5	0,0
	20	21,4	78,9	0,0	0,9	0,0		20	3,5	82,4	0,3	15,7	0,0
	40	20,9	78,6	0,0	2,1	0,0		40	0,9	73,9	5,7	19,6	0,3
	60	21,7	79,1	0,0	0,6	0,0		60					
	70	21,5	78,4	0,0	0,3	0,0		70					

Tabel 1.4. Gasprofiler for site 4 for perioden 6.okt. 2009 – 3.juni 2010.

Gasprofiler - Site 5														
06.10.2009	cm	% v/v				CH ₄ /CO ₂		10.03.2010	cm	% v/v				CH ₄ /CO ₂
		O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂									
	10	19,5	74,9	0,2	1,2	0,2			10	19,9	81,4	0,0	1,9	0,0
	20	19,0	75,1	0,1	2,4	0,0			20	19,1	82,1	0,0	2,4	0,0
	40	18,9	75,2	0,0	2,3	0,0			40	17,8	80,8	0,0	2,8	0,0
	60	15,4	74,8	0,1	7,0	0,0			60	16,3	83,0	0,0	4,5	0,0
	70	14,3	73,0	0,1	8,5	0,0			70	12,7	82,6	0,0	7,6	0,0
20.11.2009	cm	% v/v				CH ₄ /CO ₂		07.04.2010	cm	% v/v				CH ₄ /CO ₂
		O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂									
	10	19,5	79,4	0,1	2,2	0,1			10	19,1	80,9	0,0	2,1	0,0
	20	16,1	79,6	0,1	2,7	0,0			20	17,6	80,4	0,0	2,9	0,0
	40	15,6	79,0	0,1	3,8	0,0			40	16,1	80,5	0,0	3,7	0,0
	60	13,8	79,9	0,0	5,5	0,0			60	14,8	81,2	0,0	4,7	0,0
	70	9,9	80,0	0,0	10,7	0,0			70	12,0	81,6	0,0	6,9	0,0
11.12.2009	cm	% v/v				CH ₄ /CO ₂		06.05.2010	cm	% v/v				CH ₄ /CO ₂
		O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂									
	10	15,7	83,8	0,0	2,5	0,0			10	19,9	79,9	0,0	2,1	0,0
	20	12,5	84,9	0,0	3,5	0,0			20	19	79,1	0,0	2,4	0,0
	40	10,7	86,6	0,0	4,7	0,0			40	15,8	81	0,0	5,8	0,0
	60	7,3	86,8	0,0	7,6	0,0			60	12	79,5	0,0	8,7	0,0
	70	3,6	86,3	0,0	11,3	0,0			70	7,1	80	0,0	14,9	0,0
18.02.2010	cm	% v/v				CH ₄ /CO ₂		03.06.2010	cm	% v/v				CH ₄ /CO ₂
		O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂									
	10	21,2	78,2	0,0	0,7	0,0			10	17,1	77,3	0,0	5,9	0,0
	20	20,8	77,9	0,0	1,2	0,0			20	15,1	76,5	0,0	7,8	0,0
	40	20,3	77,9	0,0	2,0	0,0			40	13	77,2	0,0	10,6	0,0
	60	19,8	78,8	0,0	2,8	0,0			60	8,9	75,7	0,0	14	0,0
	70	18,1	77,9	0,0	4,4	0,0			70	2,7	78	0,0	19,2	0,0

Tabel 1.5. Gasprofiler for site 5 for perioden 6.okt. 2009 – 3.juni 2010.

Gasprofiler - Site 6											
06.10.2009	cm	% v/v				CH ₄ /CO ₂					
		O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂						
	10	12,2	75,2	0,2	9,8	0,0					
	20	11,0	77,2	1,0	9,3	0,1					
	40	0,0	74,9	3,0	20,0	0,2					
	60	0,5	71,1	5,0	19,2	0,3					
	70	0,0	70,6	6,3	20,9	0,3					
20.11.2009	cm	% v/v				CH ₄ /CO ₂					
		O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂						
	10	15,5	79,1	0,0	5,1	0,0					
	20	2,3	80,6	0,0	15,4	0,0					
	40	1,4	80,1	0,1	17,3	0,0					
	60	1,3	77,1	5,8	16,5	0,4					
	70	0,3	70,2	8,9	20,5	0,4					
11.12.2009	cm	% v/v				CH ₄ /CO ₂					
		O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂						
	10	18,8	79,6	0,0	3,2	0,0					
	20	13,8	79,8	0,0	7,1	0,0					
	40	9,0	79,0	0,0	11,9	0,0					
	60	5,7	81,4	0,0	14,9	0,0					
	70	0,1	74,5	6,7	19,0	0,4					
18.02.2010	cm	% v/v				CH ₄ /CO ₂					
		O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂						
	10	18,6	78,9	0,0	2,3	0,0					
	20	15,6	80,7	0,0	5,2	0,0					
	40	8,3	82,5	0,0	10,5	0,0					
	60	10,5	81,3	0,1	9,9	0,0					
	70	4,3	78,6	2,1	14,5	0,1					
10.03.2010	cm	% v/v				CH ₄ /CO ₂					
		O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂						
	10	21,6	80,7	0,0	0,7	0,0					
	20	19,9	80,4	0,0	2,4	0,0					
	40	18,0	80,7	0,0	4,4	0,0					
	60	16,5	80,0	0,0	5,6	0,0					
	70	13,8	79,1	0,4	7,2	0,1					
07.04.2010	cm	% v/v				CH ₄ /CO ₂					
		O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂						
	10	18,6	79,5	0,0	3,3	0,0					
	20	15,6	79,3	0,0	6,4	0,0					
	40	12,1	79,5	0,0	9,6	0,0					
	60	8,7	81,1	0,0	11,7	0,0					
	70	6,6	81,9	0,5	13,0	0,0					
06.05.2010	cm	% v/v				CH ₄ /CO ₂					
		O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂						
	10	18,9	78,6	0,1	2,7	0,0					
	20	19,1	79,4	0	1,7	0,0					
	40	16,8	79,6	0	4,4	0,0					
	60	12,1	79,8	0	9,2	0,0					
	70	7,8	78,5	2,1	12,6	0,2					
03.06.2010	cm	% v/v				CH ₄ /CO ₂					
		O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂						
	10	16,7	76,9	0,0	5,9	0,0					
	20	16,4	77	0,0	6,4	0,0					
	40	13,4	77,5	0,0	9,4	0,0					
	60	9,7	78,2	0,0	11,5	0,0					
	70	5,2	77,8	1,6	15,9	0,1					

Tabel 1.6. Gasprofiler for site 6 for perioden 6.okt. 2009 – 3.juni 2010.

Gasprofiler - Site 7											
06.10.2009	cm	% v/v				CH ₄ /CO ₂					
		O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂						
	10	10,7	75,4	0,8	10,2	0,1					
	20	4,3	75,5	1,8	15,6	0,1					
	40	0,1	73,1	4,9	18,9	0,3					
	60	2,7	70,8	6,2	16,9	0,4					
	70	0,7	68,1	9,4	19,5	0,5					
20.11.2009	cm	% v/v				CH ₄ /CO ₂					
		O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂						
	10	11,4	76,2	1,0	11,8	0,1					
	20	8,6	77,3	1,5	11,9	0,1					
	40	5,1	76,3	3,1	14,6	0,2					
	60	4,2	75,1	3,3	16,5	0,2					
	70	4,7	73,6	4,7	18,5	0,3					
11.12.2009	cm	% v/v				CH ₄ /CO ₂					
		O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂						
	10	20,1	77,8	0,0	2,5	0,0					
	20	19,4	77,3	0,0	4,2	0,0					
	40	17,1	76,4	0,0	8,3	0,0					
	60	14,0	73,2	0,0	11,2	0,0					
	70	6,9	80,1	0,1	13,3	0,0					
18.02.2010	cm	% v/v				CH ₄ /CO ₂					
		O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂						
	10	11,0	81,6	0,1	8,5	0,0					
	20	4,8	82,1	0,2	14,1	0,0					
	40	1,9	80,8	0,6	17,1	0,0					
	60	4,0	79,9	0,6	15,7	0,0					
	70	11,0	75,4	3,0	9,9	0,3					
10.03.2010	cm	% v/v				CH ₄ /CO ₂					
		O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂						
	10	21,5	80,4	0,0	0,8	0,0					
	20	20,6	80,2	0,0	1,8	0,0					
	40	15,4	81,9	0,0	6,7	0,0					
	60	13,0	82,8	0,0	8,7	0,0					
	70	6,8	81,9	2,4	12,2	0,2					
07.04.2010	cm	% v/v				CH ₄ /CO ₂					
		O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂						
	10	18,5	79,3	0,0	2,4	0,0					
	20	15,6	81,3	0,0	4,7	0,0					
	40	7,2	83,2	0,0	10,9	0,0					
	60	6,0	83,8	0,0	11,9	0,0					
	70	7,1	82,6	0,4	11,3	0,0					
06.05.2010	cm	% v/v				CH ₄ /CO ₂					
		O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂						
	10	14,1	82,7	0	3,9	0,0					
	20	9,8	82,7	0	7,6	0,0					
	40	2,8	82,4	0,3	15,1	0,0					
	60	0,8	81,1	1	17,8	0,1					
	70	2,7	75	6,3	17,5	0,4					
03.06.2010	cm	% v/v				CH ₄ /CO ₂					
		O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂						
	10	18,1	77,5	0,0	3,5	0,0					
	20	15,2	77,1	0,0	6,5	0,0					
	40	9,5	78,4	0,0	12,4	0,0					
	60	5,5	77,2	0,0	16,4	0,0					
	70	5	76,8	2,1	16,2	0,1					

Tabel 1.7. Gasprofiler for site 7 for perioden 6.okt. 2009 – 3.juni 2010.

Gasprofiler - Site 8														
06.10.2009	cm	% v/v				CH ₄ /CO ₂		10.03.2010	cm	% v/v				CH ₄ /CO ₂
	10	O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂				10	O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂	
	20								20	22,2	80,6	0,1	0,2	0,5
	40								40	21,5	81,1	0,0	0,5	0,0
	60								60	20,3	81,0	0,0	1,1	0,0
	70								70	20,2	81,6	0,0	1,3	0,0
										19,3	82,2	0,0	2,1	0,0
20.11.2009	cm	% v/v				CH ₄ /CO ₂		07.04.2010	cm	% v/v				CH ₄ /CO ₂
	10	O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂				10	O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂	
	20	19,9	77,7	0,1	2,9	0,0			20	21,4	78,7	0,1	0,6	0,2
	40	18,6	79,7	0,0	2,6	0,0			40	20,9	78,4	0,0	1,0	0,0
	60	16,5	78,2	0,0	5,5	0,0			60	20,6	79,6	0,0	1,3	0,0
	70	12,2	77,7	0,0	10,1	0,0			70	20,5	79,3	0,0	1,7	0,0
		11,0	76,5	0,0	13,5	0,0				18,6	78,9	0,0	3,0	0,0
11.12.2009	cm	% v/v				CH ₄ /CO ₂		06.05.2010	cm	% v/v				CH ₄ /CO ₂
	10	O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂				10	O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂	
	20	20,9	78,9	0,0	0,8	0,0			20	21,2	77,9	0	0,6	0,0
	40	20,3	77,7	0,0	2,7	0,0			40	21,1	78	0	0,8	0,0
	60	20,3	77,7	0,0	3,0	0,0			60	20,5	77,9	0	1,8	0,0
	70	19,3	78,3	0,0	3,9	0,0			70	20,4	77,7	0	1,8	0,0
		18,0	77,9	0,0	4,7	0,0				21,8	79,1	0	0	0,0
18.02.2010	cm	% v/v				CH ₄ /CO ₂		03.06.2010	cm	% v/v				CH ₄ /CO ₂
	10	O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂				10	O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂	
	20	21,3	77,6	0,0	0,1	0,0			20	20,9	76,8	0,0	0,9	0,0
	40	21,4	78,1	0,0	0,2	0,0			40	20,8	76,4	0,0	1,3	0,0
	60	21,3	78,3	0,0	0,5	0,0			60	19,8	76,2	0,0	2,5	0,0
	70	21,2	78,3	0,0	0,5	0,0			70	20	76,5	0,0	2,6	0,0
		19,7	79,0	0,0	1,5	0,0				18,7	75,9	0,0	3,7	0,0

Tabel 1.8. Gasprofiler for site 8 for perioden 10.nov. 2009 – 3.juni 2010.

Gasprofiler - Site 9														
06.10.2009	cm	% v/v				CH 4/CO 2		10.03.2010	cm	% v/v				CH 4/CO 2
	10	O 2	N 2	CH 4	CO 2				10	O 2	N 2	CH 4	CO 2	
	20								20	20,1	77,5	1,4	2,1	0,7
	40								40	8,8	62,2	16,1	14,6	1,1
	60								60	1,0	47,9	30,1	23,3	1,3
	70								70	1,3	47,2	30,6	23,0	1,3
20.11.2009	cm	% v/v				CH 4/CO 2		07.04.2010	cm	% v/v				CH 4/CO 2
	10	O 2	N 2	CH 4	CO 2				10	O 2	N 2	CH 4	CO 2	
	20	19,2	78,1	0,0	3,6	0,0			20	18,9	76,6	0,9	2,8	0,3
	40	7,0	77,4	1,3	12,4	0,1			40	7,7	57,1	19,9	15,3	1,3
	60	0,5	78,3	4,9	16,0	0,3			60	1,9	43,6	33,4	21,8	1,5
	70	1,7	73,2	8,6	15,3	0,6			70	2,3	42,5	34,1	22,9	1,5
		5,1	67,5	11,1	13,9	0,8								
11.12.2009	cm	% v/v				CH 4/CO 2		06.05.2010	cm	% v/v				CH 4/CO 2
	10	O 2	N 2	CH 4	CO 2				10	O 2	N 2	CH 4	CO 2	
	20	18,5	80,1	0,0	2,3	0,0			20	19,0	77,0	0,8	2,9	0,3
	40	5,5	75,6	5,0	14,3	0,4			40	11,6	62,0	12,0	10,7	1,1
	60	4,9	69,5	8,6	16,4	0,5			60	2,9	57,6	17,9	21,9	0,8
	70	5,1	66,7	10,5	16,8	0,6			70	3,5	53,5	20,8	21,4	1,0
		4,0	64,1	12,1	17,0	0,7								
18.02.2010	cm	% v/v				CH 4/CO 2		03.06.2010	cm	% v/v				CH 4/CO 2
	10	O 2	N 2	CH 4	CO 2				10	O 2	N 2	CH 4	CO 2	
	20	19,2	75,8	1,8	2,8	0,6			20	20,5	76,3	0,1	1,4	0,1
	40	10,1	63,7	13,1	12,5	1,0			40	16,8	74,7	1,5	5,3	0,3
	60	1,9	53,5	23,5	21,3	1,1			60	1,6	72,3	4,4	21,2	0,2
	70	2,3	50,4	25,2	21,3	1,2			70					

Tabel 1.9. Gasprofiler for site 9 for perioden 10.nov. 2009 – 3.juni 2010.

Gasprofiler - Site 10										
06.10.2009	cm	% v/v				CH ₄ /CO ₂				
		O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂					
	10									
	20									
	40									
	60									
	70									
20.11.2009	cm	% v/v				CH ₄ /CO ₂				
		O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂					
	10	20,3	75,9	0,2	1,5	0,1				
	20	20,7	76,7	0,1	0,9	0,1				
	40	10,1	73,1	4,5	10,1	0,4				
	60	3,7	70,0	8,8	16,1	0,5				
	70	0,6	67,0	11,3	19,6	0,6				
11.12.2009	cm	% v/v				CH ₄ /CO ₂				
		O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂					
	10	21,2	78,2	0,0	0,3	0,0				
	20	21,2	77,9	0,0	1,2	0,0				
	40	17,9	77,4	0,7	3,7	0,2				
	60	7,2	75,5	4,1	12,9	0,3				
	70	1,8	72,1	7,7	18,6	0,4				
18.02.2010	cm	% v/v				CH ₄ /CO ₂				
		O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂					
	10	21,3	78,8	0,2	0,6	0,3				
	20	21,2	79,2	0,0	0,5	0,0				
	40	21,9	79,5	0,0	0,0	0,0				
	60									
	70	0,7	52,4	24,5	22,7	1,1				
10.03.2010	cm	% v/v				CH ₄ /CO ₂				
		O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂					
	10	21,9	79,8	0,1	0,4	0,3				
	20	22,0	79,8	0,0	0,2	0,0				
	40	16,0	77,1	3,5	5,1	0,7				
	60									
	70	1,1	58,6	21,3	21,7	1,0				
07.04.2010	cm	% v/v				CH ₄ /CO ₂				
		O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂					
	10	20,8	76,7	0,0	0,7	0,0				
	20	21,0	77,3	0,0	0,5	0,0				
	40	18,5	75,9	1,2	3,0	0,4				
	60									
	70	1,7	53,9	23,8	21,2	1,1				
06.05.2010	cm	% v/v				CH ₄ /CO ₂				
		O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂					
	10	20,8	77,6	0,0	1,0	0,0				
	20	20,7	78,0	0,0	0,9	0,0				
	40	14,7	72,0	5,4	7,9	0,7				
	60									
	70	1,0	41,5	32,6	25,1	1,3				
03.06.2010	cm	% v/v				CH ₄ /CO ₂				
		O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂					
	10	20,1	77,5	0,0	2,1	0,0				
	20	19,9	76,2	0,0	2,0	0,0				
	40	9,9	74,7	2,5	13,3	0,2				
	60									
	70	1,0	59,7	16,9	23,4	0,7				

Tabel 1.10. Gasprofiler for site 10 for perioden 6.okt. 2009 – 3.juni 2010.

Gasprofiler - Site A										
06.10.2009	cm	% v/v				CH ₄ /CO ₂				
		O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂					
	10									
	20									
	40									
	60									
	70									
20.11.2009	cm	% v/v				CH ₄ /CO ₂				
		O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂					
	10									
	20									
	40									
	60									
	70									
11.12.2009	cm	% v/v				CH ₄ /CO ₂				
		O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂					
	10									
	20									
	40									
	60									
	70									
18.02.2010	cm	% v/v				CH ₄ /CO ₂				
		O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂					
	10									
	20									
	40									
	60									
	70									
10.03.2010	cm	% v/v				CH ₄ /CO ₂				
		O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂					
	10									
	20									
	40									
	60									
	70									
07.04.2010	cm	% v/v				CH ₄ /CO ₂				
		O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂					
	10									
	20									
	40									
	60									
	70									
06.05.2010	cm	% v/v				CH ₄ /CO ₂				
		O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂					
	10	19,9	75,8	0,2	2,0	0,1				
	20	18,9	76,3	0,0	3,9	0,0				
	40	15,6	73,0	0,0	9,0	0,0				
	60	13,6	73,7	0,0	12,0	0,0				
	70	21,3	77,3	0,0	0,2	0,0				
03.06.2010	cm	% v/v				CH ₄ /CO ₂				
		O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂					
	10	14,1	77,8	0,0	6,7	0,0				
	20	9,5	79,7	0,0	11,2	0,0				
	40	3,5	79,6	0,0	17,2	0,0				
	60	3,9	79,6	0,0	17,1	0,0				
	70	7,7	78,9	0,0	12,8	0,0				

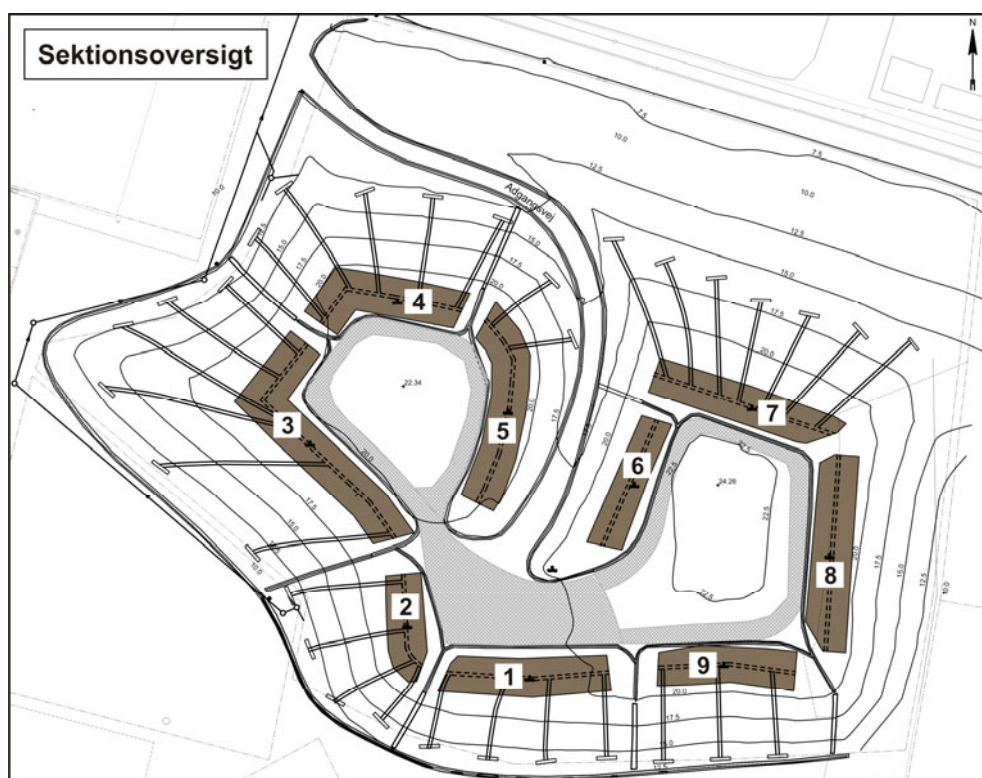
Tabel 1.11. Gasprofiler for site A for perioden 6.maj. 2010 – 3.juni 2010.

Gasprofiler - Site B														
06.10.2009	cm	% v/v					10.03.2010	cm	% v/v					
	10 20 40 60 70	O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂		CH ₄ /CO ₂		10 20 40 60 70	O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂	CH ₄ /CO ₂
20.11.2009	cm	% v/v					07.04.2010	cm	% v/v					
	10 20 40 60 70	O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂		CH ₄ /CO ₂		10 20 40 60 70	O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂	CH ₄ /CO ₂
11.12.2009	cm	% v/v					06.05.2010	cm	% v/v					
	10 20 40 60 70	O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂		CH ₄ /CO ₂		10 20 40 60 70	O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂	CH ₄ /CO ₂
18.02.2010	cm	% v/v					03.06.2010	cm	% v/v					
	10 20 40 60 70	O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂		CH ₄ /CO ₂		10 20 40 60 70	O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂	CH ₄ /CO ₂
	10 20 40 60 70								10 20 40 60 70	19,3 18 15,1 14,2 11,8	77,6 76,6 77,2 76,6 77,6	0,0 0,0 0,0 0,0 0,0	3,3 4,5 8 8,2 10,8	0,0 0,0 0,0 0,0 0,0

Tabel 1.12. Gasprofiler for site B for perioden 6.maj. 2010 – 3.juni 2010.

1 Gassammensætning i gasfordelingslaget

Dette bilag indeholder resultaterne fra gasprøverne udtaget fra gasfordelingslaget i biocoverets 9 sektioner i monitoringsperioden. Placeringen af de enkelte sektioner fremgår af Figur 1.1. Der er udtaget gasprøver i perioden fra d. 10. marts til d. 3. juni 2010. Afsnit 2 indeholder tabeller med alle resultaterne, mens resultaterne kan ses grafisk i afsnit 3. Afsnit 4 indeholder en tabel med de gennemsnitlige gaskoncentrationer i de 9 sektioner, og i Afsnit 5 findes data fra renpumpningsforsøgene. Disse forsøg er foretaget for at undersøge, om gassammensætningen ændres under den renpumpning, der blev foretaget før hver gasprøvetagning.



Figur 1.1. Illustration af biocoveret på etape 0 på Klintholm. Biocoveret er opdelt i 9 separate sektioner, nummereret 1-9.

2 Resultater i tabelform

Sektion	% v/v			
	O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂
Sektion 1 # 1	12,3	82,4	0,1	7,7
Sektion 1 # 2	12,6	84,3	0,0	7,7
Sektion 1 # 3	12,3	82,7	0,0	7,6
Sektion 1	12,4	83,1	0,0	7,7
Sektion 2 # 1	1,4	60,1	23,1	17,8
Sektion 2 # 2	1,1	59,5	23,3	17,9
Sektion 2 # 3	1,7	60,3	22,7	17,6
Sektion 2	1,4	60,0	23,0	17,8
Sektion 3 # 1	1,2	77,2	5,6	17,2
Sektion 3 # 2	1,0	77,9	5,7	17,7
Sektion 3 # 3	1,7	77,6	5,5	17,0
Sektion 3	1,3	77,6	5,6	17,3

Tabel 2.1. Gassammensætning i sektion 1-3 d. 10. marts 2010.

Sektion	% v/v			
	O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂
Sektion 1 # 1	13,8	81	0,1	6,2
Sektion 1 # 2	13,9	79,8	0,0	5,8
Sektion 1 # 3	13,7	81,5	0,0	6,4
Sektion 1	13,8	80,8	0,0	6,1
Sektion 2 # 1	0	61,1	21,5	18,6
Sektion 2 # 2	1,2	62,7	20,2	17,4
Sektion 2 # 3	0,3	61,6	21	18,2
Sektion 2	0,5	61,8	20,9	18,1
Sektion 3 # 1	15,2	75,8	0,4	8,6
Sektion 3 # 2	14	75,1	0,5	10,4
Sektion 3 # 3	13,7	73,6	0,6	10,5
Sektion 3	14,3	74,8	0,5	9,8
Sektion 4 # 1	0	43,8	31,9	24,7
Sektion 4 # 2	0	43,4	32,8	25,5
Sektion 4 # 3	0	43,5	31,7	24,6
Sektion 4	0,0	43,6	32,1	24,9
Sektion 5 # 1	15,1	78,9	0,1	4,7
Sektion 5 # 2	15,3	81,7	0	4,8
Sektion 5 # 3	15,4	81,4	0	4,9
Sektion 5	15,3	80,7	0,0	4,8

Tabel 2.2. Gassammensætning i sektion 1-5 d. 7. april 2010.

sektion	% v/v			
	O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂
Sektion 1 # 1	12,6	82,2	0,0	8,2
Sektion 1 # 2	12,1	80,1	0,0	8,3
Sektion 1 # 3	12,3	80,4	0,0	8,1
Sektion 1	12,3	80,9	0,0	8,2
Sektion 2 # 1	15,4	74,9	0,0	10,0
Sektion 2 # 2	15,5	74,7	0,0	9,7
Sektion 2 # 3	14,9	73,4	0,0	10,1
Sektion 2	15,3	74,3	0,0	9,9
Sektion 3 # 1	3,2	77,1	0,1	20,1
Sektion 3 # 2	3,8	77,5	0,1	19,5
Sektion 3 # 3	4,2	77,7	0,1	19,1
Sektion 3	3,7	77,4	0,1	19,6
Sektion 4 # 1	0,8	47,6	27,4	25,4
Sektion 4 # 2	0,1	46,0	28,4	26,3
Sektion 4 # 3	0,0	44,8	28,7	26,6
Sektion 4	0,3	46,1	28,2	26,1
Sektion 5 # 1	17,2	77,1	0,1	5,1
Sektion 5 # 2	17,4	78,1	0,0	5,1
Sektion 5 # 3	17,5	77,7	0,0	5,0
Sektion 5	17,4	77,6	0,0	5,1
Sektion 6 # 1	20,5	78,5	0,0	1,8
Sektion 6 # 2	20,4	77,8	0,0	1,7
Sektion 6 # 3	20,3	77,1	0,0	1,7
Sektion 6	20,4	77,8	0,0	1,7
Sektion 7 # 1	4,9	74,1	4,2	17,2
Sektion 7 # 2	0,5	74,0	5,4	22,0
Sektion 7 # 3	1,6	72,9	5,0	20,3
Sektion 7	2,3	73,7	4,9	19,8
Sektion 8 # 1	20,3	79,2	0,0	1,5
Sektion 8 # 2	20,1	77,5	0,0	1,3
Sektion 8 # 3	20,3	78,6	0,0	1,4
Sektion 8	20,2	78,4	0,0	1,4
Sektion 9 # 1	0,0	76,3	7,0	18,0
Sektion 9 # 2	0,2	76,6	6,9	17,7
Sektion 9 # 3	0,9	76,5	6,7	17,4
Sektion 9	0,4	76,5	6,9	17,7

Tabel 2.3. Gassammensætning i sektion 1-9 d. 9. april 2010.

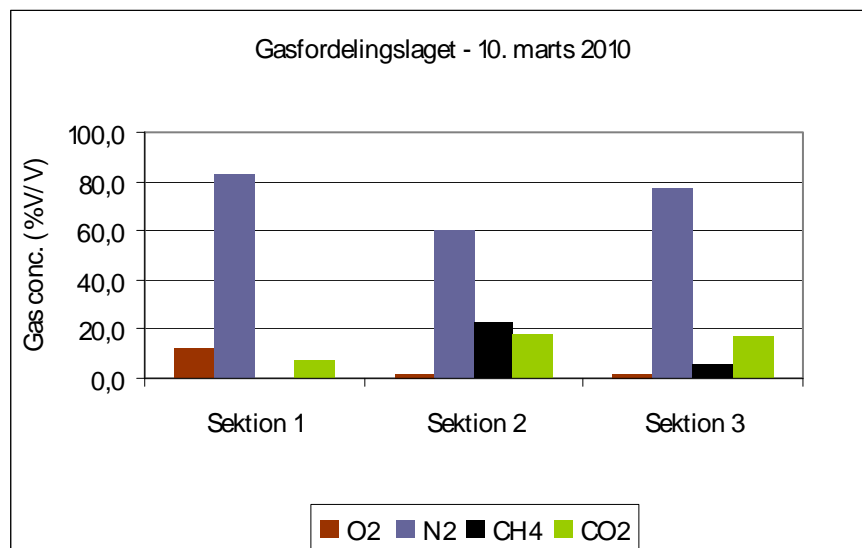
Sektion	% v/v			
	O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂
Sektion 1 # 1	7,7	80,0	0,0	14,4
Sektion 1 # 2	7,2	78,9	0,0	14,7
Sektion 1	7,5	79,5	0,0	14,6
Sektion 2 # 1				
Sektion 2 # 2	2,7	74,9	5,9	18,0
Sektion 2	2,7	74,9	5,9	18,0
Sektion 3 # 1	5,0	74,7	4,3	17,4
Sektion 3 # 2	5,1	74,1	4,2	17,0
Sektion 3	5,1	74,4	4,3	17,2
Sektion 4 # 1	0,0	38,2	34,6	28,1
Sektion 4 # 2	0,0	39,0	34,4	27,9
Sektion 4	0,0	38,6	34,5	28,0
Sektion 5 # 1	18,9	76,7	0,2	4,5
Sektion 5 # 2	19,3	77,6	0,1	4,2
Sektion 5	19,1	77,2	0,2	4,4
Sektion 6 # 1	17,3	78,4	0,1	3,7
Sektion 6 # 2	17,5	78,5	0,0	3,5
Sektion 6	17,4	78,5	0,1	3,6
Sektion 7 # 1	2,2	65,2	12,5	21,2
Sektion 7 # 2	2,8	65,5	12,2	20,7
Sektion 7	2,5	65,4	12,4	21,0
Sektion 8 # 1	18,6	78,2	0,4	4,0
Sektion 8 # 2	18,4	77,0	0,4	3,8
Sektion 8	18,5	77,6	0,4	3,9
Sektion 9 # 1	1,1	67,3	11,2	20,3
Sektion 9 # 2	0,8	67,7	11,3	20,6
Sektion 9	1,0	67,5	11,3	20,5

Tabel 2.4. Gassammensætning i sektion 1-9 d. 6. maj 2010.

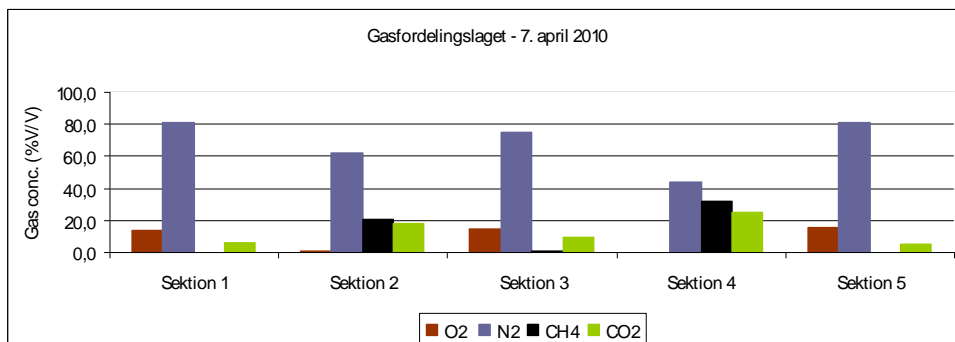
Sektion	% v/v			
	O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂
Sektion 1 # 1	4,5	79,8	0,0	26,0
Sektion 1 # 2	4,4	79,7	0,0	25,0
Sektion 1	4,5	79,8	0,0	25,5
Sektion 2 # 1	0,1	64,3	17,5	24,2
Sektion 2 # 2	0,4	63	16,8	23,1
Sektion 2	0,3	63,7	17,2	23,7
Sektion 3 # 1	16,7	76,8	0,0	9,6
Sektion 3 # 2	17,2	78,4	0,0	9,0
Sektion 3	17,0	77,6	0,0	9,3
Sektion 4 # 1	1,1	59,4	18,0	24,6
Sektion 4 # 2	1,2	58,9	17,8	24,3
Sektion 4	1,2	59,2	17,9	24,5
Sektion 5 # 1	18,5	78,1	0,0	4,4
Sektion 5 # 2	18,4	78,1	0,0	5,5
Sektion 5	18,5	78,1	0,0	5,0
Sektion 6 # 1	17,2	78,7	0,0	5,7
Sektion 6 # 2	17,7	79,6	0,0	5,3
Sektion 6	17,5	79,2	0,0	5,5
Sektion 7 # 1	0,7	75,3	4,6	21,0
Sektion 7 # 2	0,2	75,1	4,6	21,1
Sektion 7	0,5	75,2	4,6	21,1
Sektion 8 # 1	16,5	78,3	0,3	6,1
Sektion 8 # 2	16,7	78,7	0,3	6,0
Sektion 8	16,6	78,5	0,3	6,1
Sektion 9 # 1	1,6	73,6	7,2	20,3
Sektion 9 # 2	0,5	70,6	7,4	20,9
Sektion 9	1,1	72,1	7,3	20,6

Tabel 2.5. Gassammensætning i sektion 1-9 d. 3. juni 2010.

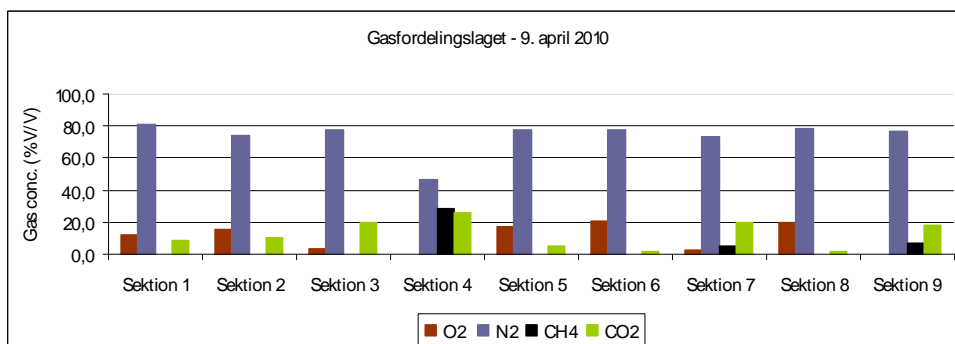
3 Resultater i figurform



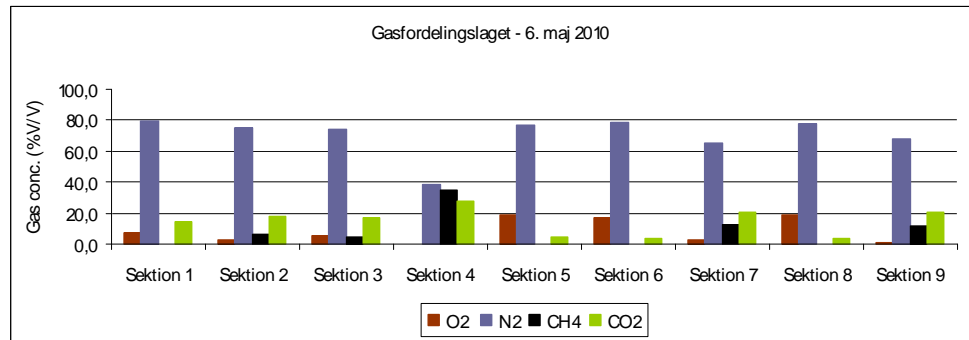
Figur 3.1. Gassammensætning i sektion 1-3 d. 10. marts 2010.



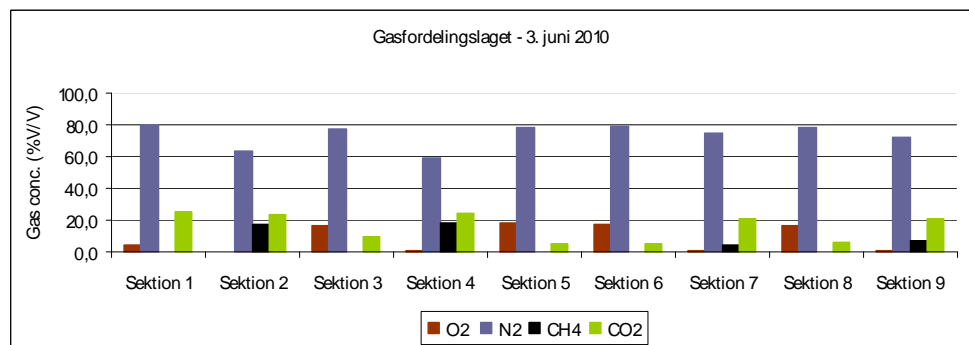
Figur 3.2. Gassammensætning i sektion 1-5 d. 7. april 2010.



Figur 3.3. Gassammensætning i sektion 1-9 d. 9. april 2010.



Figur 3.4. Gassammensætning i sektion 1-9 d. 6. maj 2010.



Figur 3.5. Gassammensætning i sektion 1-9 d. 3. juni 2010.

4 Gennemsnitlige gaskoncentrationer

Sektion	% v/v			
	O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂
1	10,1 ± 4,0	80,8 ± 1,4	0,0	12,4 ± 8,0
2	4,0 ± 6,4	66,9 ± 7,1	13,4 ± 10,0	17,5 ± 4,9
3	8,3 ± 6,9	76,4 ± 1,6	2,1 ± 2,6	14,6 ± 4,7
4	0,4 ± 0,5	46,9 ± 8,8	28,2 ± 7,3	25,9 ± 1,6
5	17,5 ± 1,7	78,4 ± 1,6	0,1 ± 0,1	4,8 ± 0,3
6	18,4 ± 1,7	78,5 ± 0,7	0,0	3,6 ± 1,9
7	1,8 ± 1,1	71,4 ± 5,3	7,3 ± 4,4	20,6 ± 0,7
8	18,4 ± 1,8	78,2 ± 0,5	0,2 ± 0,2	3,8 ± 2,3
9	0,8 ± 1,7	72,0 ± 0,9	8,5 ± 0,2	19,6 ± 2,4

Figur 4.1. Gennemsnitlige gaskoncentrationer i gasfordelingslagets 9 sektioner.

5 Renpumpningsforsøg

Rør	O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂
Sektion 6. 10 min # 1	20,5	78,5	0	1,8
Sektion 6. 10 min # 2	20,4	77,8	0	1,7
Sektion 6. 10 min # 3	20,3	77,1	0	1,7
middel, 10 min	20,4	77,8	0,0	1,7
Sektion 6. 20 min # 1	20,8	78,4	0	1,5
Sektion 6. 20 min # 2	20,6	77,7	0	1,4
Sektion 6. 20 min # 3	20,7	78,3	0	1,5
middel, 20 min	20,7	78,1	0,0	1,5
Sektion 6. 30 min # 1	20,7	78,4	0	1,4
Sektion 6. 30 min # 2	20,3	76,9	0	1,5
Sektion 6. 30 min # 3	20,7	78,4	0	1,5
middel, 30 min	20,6	77,9	0,0	1,5

Tabel 5.1. Renpumpningsforsøg i sektion 6 d. 9. april 2010. Der er udtaget gasprøver efter 10, 20 og 30 min. Bemærk at gaskoncentrationerne ikke ændres over tid.

Sektion	% v/v			
	O ₂	N ₂	CH ₄	CO ₂
Sektion 2 start # 1	1,7	73,6	6,8	18,8
Sektion 2 start # 2	1,4	73,3	7	19,4
Sektion 2 10 min # 1	2,8	74,6	6,3	18,3
Sektion 2 10 min # 2	1,2	74,5	6,7	19,4
Sektion 2 20 min # 1	2,2	74,3	6,1	18,3
Sektion 2 20 min # 2	2,2	74,5	6	18,2
Sektion 2 30 min # 1				
Sektion 2 30 min # 2	2,7	74,9	5,9	18
Sektion 4 start	0,3	37,2	36,8	27,4
Sektion 4 10 min # 1	1,4	38,9	34,1	25,7
Sektion 4 10 min # 2	0,8	38,3	35,6	26,9
Sektion 4 20 min # 1	0	37,8	35,8	28,3
Sektion 4 20 min # 2	0	38,5	34,9	27,6
Sektion 4 30 min # 1	0	38,2	34,6	28,1
Sektion 4 30 min # 2	0	39	34,4	27,9
Sektion 6 start	18,2	78,8	0,2	3,2
Sektion 6 # 1	17,3	78,4	0,1	3,7
Sektion 6 # 2	17,5	78,5	0	3,5
Sektion 7 start	3,3	65,6	12	19,9
Sektion 7 # 1	2,2	65,2	12,5	21,2
Sektion 7 # 2	2,8	65,5	12,2	20,7
Sektion 8 start	18,4	76,9	0,8	3,2
Sektion 8 # 1	18,6	78,2	0,4	4
Sektion 8 # 2	18,4	77	0,4	3,8

Tabel 5.2. Renspumpningsforsøg i sektionerne 2, 4, 6, 7 og 8 d. 6. maj 2010. I sektion 6, 7 og 8 er der kun udtaget gasprøver før start af renpumpningen og efter 30 min. Bemærk at gaskoncentrationerne ikke ændres over tid.

1 Fluxmålinger

I dette bilag præsenteres resultaterne fra fluxmålingerne foretaget på etape 0 i monitoringsperioden okt. 2009 - juni 2010. I afsnit 2 findes et samlet overblik over målte fluxe ved de 12 gasprobesæt (site 1-10 + A og B), mens afsnit 3 indeholder data fra feltarbejdet d. 3. juni 2010, hvor der blev foretaget yderligere fluxmålinger i gridsystem i sektion 2, 3 og 4. Afsnit 4 viser data fra en måleserie foretaget ved et af gasprobesættene (site 2), samt data fra målinger ved to hotspots. Disse målinger er foretaget ved feltarbejdet d. 6. maj 2010.

2 Fluxmålinger i moniteringsperioden - Samlet overblik

CO ₂ (g/m ² ·d)	Site												
Dato	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	A	B	Middel
20-11-2009	1275	722	31	79	52	357	147	82	72	18	Ikke målt	Ikke målt	283
11-12-2009	123	294	122	105	53	341	149	15	97	18	Ikke målt	Ikke målt	132
18-02-2010	190	216	376	2	6	125	394	0	67	9	Ikke målt	Ikke målt	138
10-03-2010	24	208	13	14	9	9	24	3	54	0	Ikke målt	Ikke målt	36
07-04-2010	91	142	34	63	26	48	78	25	52	38	Ikke målt	Ikke målt	60
06-05-2010	11	162	0	8	17	46	56	6	23	44	43	11	36
03-06-2010	41	19	33	74	34	53	23	11	15	20	38	22	32
Middel	250	252	87	49	28	140	125	20	54	21	41	17	

CH ₄ (g/m ² ·d)	Site												
Dato	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	A	B	
20-11-2009	446	5	0	0	0	0	0	0	0	0	Ikke målt	Ikke målt	
11-12-2009	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	Ikke målt	Ikke målt	
18-02-2010	0	73	15	0	0	0	6	0	0	0	Ikke målt	Ikke målt	
10-03-2010	0	35	0	0	0	0	0	0	15	0	Ikke målt	Ikke målt	
07-04-2010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Ikke målt	Ikke målt	
06-05-2010	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
03-06-2010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

CH ₄ /CO ₂	Site												
Dato	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	A	B	
20-11-2009	0,96	0,02	-	-	-	-	-	-	-	-	Ikke målt	Ikke målt	
11-12-2009	-	0,93	-	-	-	-	-	-	-	-	Ikke målt	Ikke målt	
18-02-2010	-	0,94	0,11	-	-	-	0,04	-	-	-	Ikke målt	Ikke målt	
10-03-2010	-	0,46	-	-	-	-	-	-	0,78	-	Ikke målt	Ikke målt	
07-04-2010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Ikke målt	Ikke målt	
06-05-2010	-	0,06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
03-06-2010	-	-	-	-	-	-	-0,03	-	-	-	-	-	

Tabel 2.1. Resultater af fluxkammermålinger ved de 12 gasprobesæt i perioden 20. nov. 2009 – 3. juni 2010. Tabellen er opdelt i tre dele: fluxe af CO₂, fluxe af CH₄ samt forholdet mellem emitteret CH₄ og CO₂.

3 Fluxmålinger – gridmålinger i sektion 2, 3 og 4 d. 3. juni 2010

S k r æ n t	1	2	3	4
	5	6	7	8
	9	10	11	12

CO ₂ (g/m ² -d)	Grid - Sektion 2			
	119,1	37,2	16,0	11,0
	77,7	32,6	22,8	11,3
	170,6	17,9	33,1	15,8
middel	122,4	29,2	24,0	12,7

CH ₄ (g/m ² -d)	Grid - Sektion 2			
	0,3			
	1,4			
	3,4			
middel	1,7			

CH ₄ /CO ₂	Grid - Sektion 2			
	0,01			
	0,05			
	0,06			
middel	0,04			

CO ₂ (g/m ² -d)	Grid - Sektion 3			
	27,7	28,8	20,1	29,6
	20,7	33,4	21,2	26,7
	14,4	27,6	19,1	15,5
middel	21,0	29,9	20,1	23,9

CH ₄ (g/m ² -d)	Grid - Sektion 3			
middel				

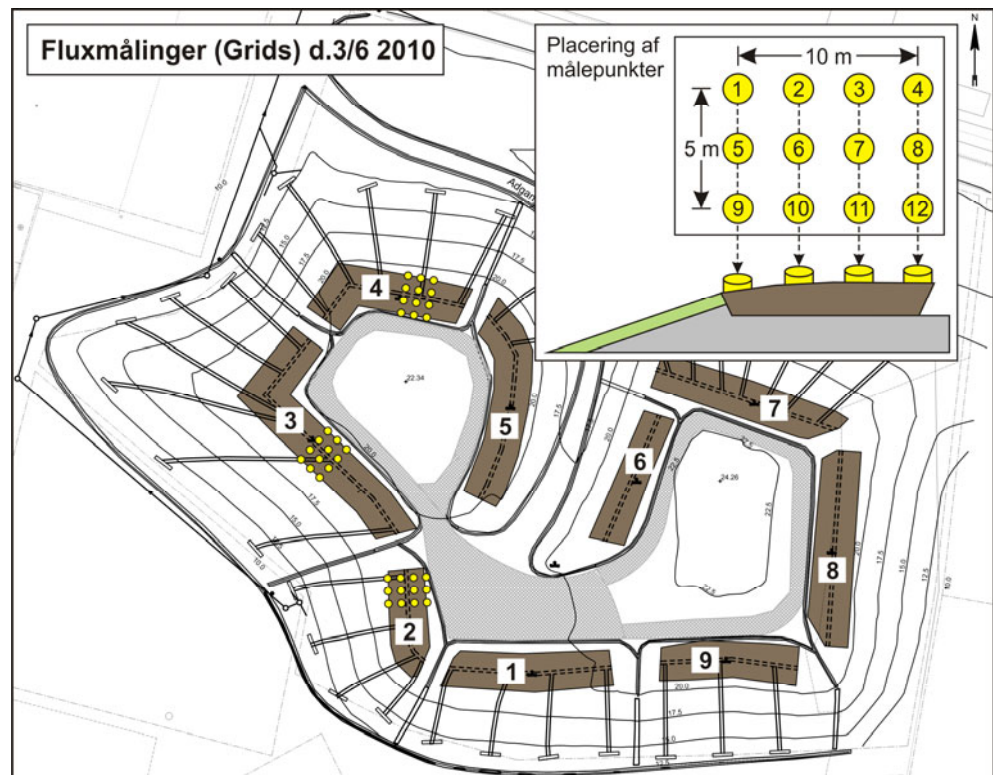
CH ₄ /CO ₂	Grid - Sektion 3			
middel				

CO ₂ (g/m ² -d)	Grid - Sektion 4			
	63,3	13,0	5,6	7,0
	152,4	30,8	6,0	12,8
	201,5	24,8	11,8	10,6
middel	139,0	22,9	7,8	10,1

CH ₄ (g/m ² -d)	Grid - Sektion 4			
	20,4			
	46,2	0,7		
	56,1			
middel	40,9	0,2		

CH ₄ /CO ₂	Grid - Sektion 4			
	0,88			
	0,83	0,1		
	0,77			
middel	0,83	0,0		

Tabel 3.1. Gridmålinger d. 3. juni 2010. Målepunkternes placering i hver tabel svarer til placeringen vist i øverste venstre hjørne. Placeringen af grids og målepunkter fremgår af Figur 3.1. Tabellen består af tre dele. Til venstre ses fluxe af CO₂ i de tre sektioner. I midten ses fluxe af CH₄, og til højre ses forholdet imellem emitteret metan og kuldioxid. Et tomt felt betyder, at der ikke er registreret en flux ved det pågældende målepunkt.



Figur 3.1. Placeringen af de tre gridmålinger på biocoveret samt en illustration af placeringen af målepunkter i de enkelte grids. Målingerne er foretaget d. 3. juni 2010.

4 Øvrige fluxmålinger

4.1 Måleserie foretaget ved site 2

Gasprobesættet ved site 2 er installeret i biocoveret ca. 2 meter fra skrænten. Ved udførsel af fluxmålingerne ved de 12 gasprobesæt d. 6. maj 2010 blev der udført en ekstra måleserie ved site 2. Der blev foretaget 8 målinger med en meters afstand startende ved site 2 og sluttende 5 meter ned ad skrænten. Et billede fra måleserien kan ses i Figur 4.1, og data fra måleserien kan ses i Tabel 4.1.

	CO ₂ (g/m ² ·d)
Lokation	
Site 2	162
1 meter fra site 2 og 1 meter fra skrænten	144
2 meter fra site 2; kanten af skrænten.	159
3 meter fra site 2, ca. 1 meter nede ad skrænten.	0
4 meter fra site 2, ca. 2 meter nede ad skrænten.	5
5 meter fra site 2, ca. 3 meter nede ad skrænten.	4
6 meter fra site 2, ca. 4 meter nede ad skrænten.	11
7 meter fra site 2, ca. 5 meter nede ad skrænten.	9
	CH ₄ (g/m ² ·d)
Lokation	
Site 2	3
1 meter fra site 2 og 1 meter fra skrænten	1
2 meter fra site 2; kanten af skrænten.	0
3 meter fra site 2, ca. 1 meter nede ad skrænten.	0
4 meter fra site 2, ca. 2 meter nede ad skrænten.	0
5 meter fra site 2, ca. 3 meter nede ad skrænten.	0
6 meter fra site 2, ca. 4 meter nede ad skrænten.	0
7 meter fra site 2, ca. 5 meter nede ad skrænten.	0

Tabel 4.1. Samlet overblik over fluxmålingerne udført ved site 2 d. 6. maj 2010. Som det fremgår, registreres der kun yderst begrænsede fluxe af metan på biocoverets overflade, mens der intet måles på skrænten. Fluxen af CO₂ måles til 144-162 g/(m²·d) på overfalden af biocoveret, mens den er yderst begrænset på skrænten. Resultatet af måleserien understøtter, at lerjordsafdækningen på skræntarealet har en meget lav gaspermeabilitet.



Figur 4.1. Fluxmåling ved site 2 d. 6. maj 2010. I denne måleserie blev der målt med en meters afstand startende ved site 2 og sluttende 5 meter nede ad skrænten. På billedet ses den første måling, hvor fluxkammeret er placeret lige ved site 2, samt et målebånd fastgjort til en af site 2's gasprober.

4.2 Fluxmålinger ved to erkendte hotspots

Udover måleserien ved site 2 blev der ved feltarbejdet d. 6. maj 2010 også udført fluxmålinger ved to erkendte hotspots på biocoveret. Hotspotsene blev fundet ved den forudgående FID-screening, og de var begge lokaliseret i området imellem biocoveret og skrænten. Data for de to fluxmålinger kan ses i Tabel 4.2.

<i>Hotspots - enkeltmålinger</i>	CO ₂ (g/m ² ·d)
Lokation	
Hotspot 5 meter nordvest for site 9	509
Hotspot, 5 meter nord-nordvest for data logger A	585
Middel	547
<i>Hotspots - enkeltmålinger</i>	CH ₄ (g/m ² ·d)
Lokation	
Hotspot 5 meter nordvest for site 9	318
Hotspot, 5 meter nord-nordvest for data logger A	85
Middel	201

Tabel 4.2. fluxmålinger foretaget over to erkendte hotspots lokaliseret i overgangen imellem biocoveret og skrænten. Som det fremgår, er fluxene af CO₂ ret ens, mens fluxene af CH₄ udviser større variation.

1 Totalmålinger, Klintholm deponi, etape 0 2008-2010

I dette bilag præsenteres resultaterne af totalmålingerne foretaget på Klintholm I/S 2008-2010. I Afsnit 2 findes en metodebeskrivelse, mens en opsummering af resultaterne fremgår af tabellerne i afsnit 3.

2 Metodebeskrivelse - meFTIR

The mobile extractive FTIR technique (meFTIR) is based on emission of tracer-gas in combination with measurements of emission- and tracer-gas concentrations in the wind plume [1, 2, 3, 4, 5].

The technique uses a spectrometer working in the infra-red region. Surrounding gas is pumped into a cell where light from an artificial light source (IR-glowbar) is absorbed by the gas. The light is transmitted a long distance inside the gas cell, due to a set of mirrors, which makes it possible to measure very low concentrations. The proportion of absorbed light in the cell at different wavelengths is used to determine the concentration of methane in the plume from the landfill. The tracer-gas is used to calibrate the atmospheric dispersion of the methane emission. By integrating the methane and tracer emission plumes downwind the landfill site, the area distributed and inhomogeneous emission present at the landfill can be quantified. Three distributed bottles of N_2O were used as tracers to enable quantification of the emission from the landfill.

The release rate of the tracer gas was determined through a combination of a two-stage regulator mounted on each bottle, clocking of release time and measuring the weight of gas released with a high precision scale. For the measurements at Klintholm three tracers were used on the landfill sections, each with a release rate of about 2.36 kg h^{-1} of N_2O . For the compost methane emission measurements one to two tracers were used, with a release rate ranging from $1.0\text{-}2.5 \text{ kg h}^{-1}$. The FTIR equipment is built into a van and atmospheric air is continuously sampled through a pipe in the roof. A meteorological unit is used to measure wind direction, wind speed, air- and soil temperature and a GPS constantly logs the position of the van.



Figure 2.1. a) The meFTIR van with the FTIR gas cell showing in the interior. b) Tracer gas release unit.

In terms of overall absolute accuracy for the methodology this is somewhat dependent on the application. The method was developed for large area distributed fugitive sources (like landfill methane emissions) with complex emission distributions. Including errors due to errors in database absorption cross sections and spectral concentration retrieval, tracer release rate and interfering tracer sources, plume integration and tracer release mismatch, an accuracy of 18% could be expected at normal conditions for these area distributed sources (Samuelsson et. al., 2005). This applies for a measurement distance to the source of about five times the radius of the source extent in the plume direction. Measuring closer to the source the tracer mismatch with the source emission might induce substantially larger errors. Studies in the literature where area distributed releases of two or more tracer gases have been used for cross-retrieval of the released tracer amounts, show accuracy levels (residual sum of squares) of 14% [6] respectively 11-21% [7].

The reported accuracy estimate and observed precision is well in line with the results found in a controlled methane release experiment recently, aiming at comparing different fugitive emission measurement techniques in Wisconsin, USA [8]. For four different area distributed mass flow controlled methane releases in the range of $3.9\text{-}11.8 \text{ kg CH}_4 \text{ h}^{-1}$, the mobile extractive FTIR tracer technique

operated at 400 m downwind distance, retrieved the fluxes with an absolute accuracy within 4-20 % for the four different configurations. The precision for the measurements in this experiment was in the range 4-9 %.

2.1 References

- [1] Galle B, Samuelsson J, Svensson BH, Börjesson G., Measurements of methane emissions from landfills using a time correlation tracer method based on FTIR absorption spectroscopy. *Environmental Science & Technology* 35 (1): 21-25, 2001.
- [2] Samuelsson, J., Börjesson, G., Svensson, B., Galle, B., Metan från avfallsupplag i Sverige (Methane from landfills in Sweden), final report to the Swedish Energy Agency, projekt nr P10856-4, December 2005. In Swedish (www.stem.se), can be ordered from Studsviksbiblioteket, 61182Nyköping, Sweden, www.lib.kth.se/SB/service/stemavf.html.
- [3] Samuelsson, J., Börjesson, G., Monitoring of methane emissions from landfills using tracers and mobile FTIR spectroscopy, *Proceedings CEM2007*, 8th International Conference on Emissions Monitoring, Zürich, 2007, pp 169-173.
- [4] Scheutz, C., Samuelsson, J., Fredenslund, A.M., Kjeldsen, P., Methane emission quantification from landfills using a double tracer approach, *Proceedings Sardinia 2007, Eleventh International Waste Management and Landfill Symposium*, CISA publisher, Cagliari, 2007.
- [5] Börjesson, G., Samuelsson, J., A national landfill methane budget for Sweden based on field measurements, and an evaluation of IPCC models. Accepted for publication in *Tellus series B - Chemical and Physical Meteorology*, 61(2) 424-435, 2009
- [6] Mellqvist, J., Application of infrared and UV-visible remote sensing techniques for studying the stratosphere and for estimating anthropogenic emissions, doktorsavhandling, Chalmers tekniska högskola, Göteborg, Sweden, 1999
- [7] Lamb, B., J. McManus, Joanne Shorter, Charles Kolb, Byard Mosher, Robert Harriss, Eugene Allwine, Denise Blaha, Touche Howard, Alex Guenther, Robert Lott, Robert Siverson, Hal Westburg, Pat Zimmerman (1995). "Development of Atmospheric Tracer Methods To Measure Methane Emissions from Natural Gas Facilities and Urban Areas." *Environ. Sci. Technol.* 29(6): 1468-1479.
- [8] Babilotte, A., Green, R., Hater, G., Watermolen, T., Staley, B., 2009, Field intercomparison of methods to measure fugitive methane emissions. *Proceedings Sardinia 09 Twelfth International Waste Management and Landfill Symposium*, CISA Environmental Sanitary Engineering Centre, Cagliari, Italy.

3 Resultater

Table 1. Summary for the CH₄ measurements at the landfill sections at Klintholm (section 0 (biofilter) and new sections 1 and 2). Compost section excluded here.

Date	Time	No of plume transects	Emission	Wind speed and direction	Atmospheric Pressure, Temperature
080402	141333 -183630	15	14.0±1.6 kg/h	2.9 m/s 297 deg	<i>1013 mbar</i> <i>10 °C</i>
080805	182424 -203927	12	16.0±2.0 kg/h	5.2 m/s 291 deg	<i>1006 mbar</i> <i>16 °C</i>
090817	224000-234000	8	11.2±1.2 kg/h	4 m/s 285 deg	1010 mbar 14°C
090925	133000-152000	10	12.1±1.7 kg/h	5 m/s 270 deg	1021 mbar 20 °C
100409	101500-121500	11	9.1 ± 1.2 kg/h	3.4 m/s 313 deg	1025 mbar 10 °C
100525	233000-004500	8	7.0 ± 1.0 kg/h	5.5 m/s 280 deg	1009 mbar 6 °C
100614	034500-064000	11	6.1 ± 0.7 kg/h	1.5 m/s 298 deg	<i>1015 mbar</i> <i>8 °C</i>

Temperature and pressure in *italics* retrieved from DMI measuring station on Fyn (www.dmi.dk).

Table 2. Summary for the CH₄ measurements and separation of the landfill sections at Klintholm (section 0 (biofilter), new sections 1 and 2), respectively the compost section.

Date	Landfill emission [no. transects] ^{A, B}	Bio-filter (section 0) ^D	Landfill section 1+2 ^D	Compost emission [no. transects] ^{A, C}
080402	14.0±1.6 kg/h [15]	31 %	69 %	4.5 ± 1.1 kg/h [10]
080805	16.0±2.0 kg/h [12]	40 %	60 %	1.7 ± 0.3 kg/h [5]
090817	11.2±1.2 kg/h [8]	32%	68%	2.6 ± 0.8 kg/h [4]
090925	12.1±1.7 kg/h [10]	35 %	65 %	6.1 ± 0.3 kg/h [5]
100409	9.1 ± 1.2 kg/h [11]	35 %	65 %	N.A.
100525	7.0 ± 1.0 kg/h [8]	19 %	81 %	7.9 ± 1.6 kg/h, [3]
100614	6.1 ± 0.7 kg/h [11]	16 %	84 %	N.A.

A) Average ± 1 standard deviation among the transects

B) Landfill emission uncertainty 18 %

C) Compost emission measured closer to source and uncertainty higher, ~ 30 %.

D) Attribution of the overall landfill emission to the bio-filter section respectively landfill sections 1+2 is estimated to be within 30 % (relative) of given fraction, e.g. for 080402: Bio-filter fraction: ~~22%~~**31%**~~-40%~~, landfills section 1+2: ~~60%~~ - **69%** - 78% .

Projekt Biocover på Klintholm

Kunde Klintholm I/S

Emne Estimeret gasproduktion på etape 1 og 2

Fra Rambøll

Til Klintholm og DTU

Rambøll Danmark A/S
Englandsgade 25
DK-5100 Odense C
Danmark

Telefon +45 6542 5800
Direkte 6542 5979
Fax +45 6542 5999
trm@ramboll.dk
www.ramboll.dk

På baggrund af vilkår i miljøgodkendelsen for etape 0 er der i 1998 gennemført en undersøgelse af produktionen af deponigas fra etape 0. Undersøgelsen er beskrevet i /1/.

Dato 2008-04-14
Ref 08727014
 G00039-5-TRM(5)

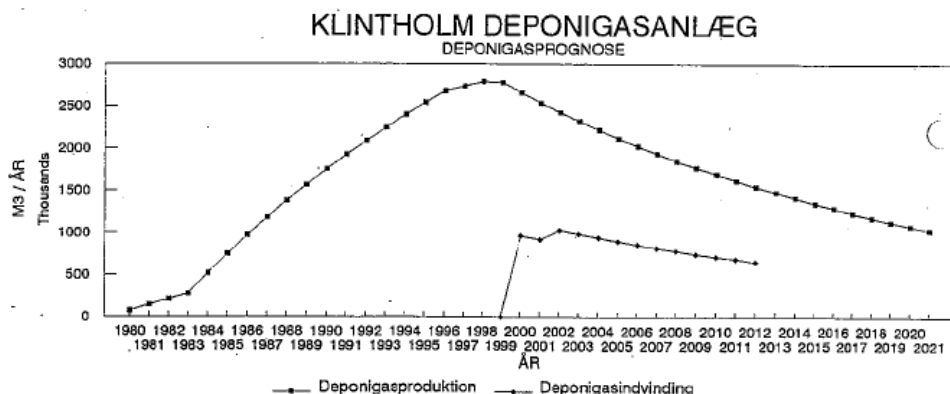
I forbindelse med undersøgelser til biocover etablering på Klintholm Losseplads er der i det følgende estimeret en gasproduktion fra etape 1 og 2. Estimeringen skal anvendes i forbindelse med de kommende målinger i gasfanen for at kunne adskille gasbidrag fra de enkelte etaper på Klintholm I/S' deponi.

Anvendte forudsætninger

For at give et brugbart sammenligningsgrundlag mellem den tidligere udførte beregning af gasproduktionen i etape 0 og den nye beregning for etape 1 og 2 er der i det følgende taget udgangspunkt i forudsætninger anvendt i /1/.

Etape 0

I 1998 er gasproduktionen på etape 0 estimeret. Etape 0 er opdelt i 2 sektioner, hvor der for affaldet i sektion 1 er vurderet en halveringstid på 20 år og en gasproduktion på 180 m³ per ton. I sektion 2 er der vurderet at være en anden affaldssammensætning, hvorfor halveringstiden er sat til 15 år og gasproduktionen er estimeret til 150 m³ per ton affald. Det giver en gasproduktion som i figur 1.



Figur 1. Estimeret gasproduktion for etape 0 /1/.

Etape 1 og 2

Oplysninger om art, organisk indhold og alder af affaldet i hver af etaperne 1 og 2 er søgt indhentet. Følgende er konstateret:

Etape 1 er inddelt i 3 celler, hvor celle 1 blev etableret i 1993. Etape 2 er inddelt i 2 celler, der begge blev etableret i 1996. Etape 2 er depot for forurenede jord, se bilag 1 og /2/, mens etape 1 er depot for blandet affald. Derfor forudsættes det, at gasproduktionen fra etape 2 er ikke-målbart og den er derfor ikke med i estimatet.

I 1997 blev affaldssammensætningen på etape 1 opgjort til at være sammensat af 19 % brændbart, 33 % slam og 48 % ikke brændbart. I /1/ blev der vurderet en gasproduktion på 150 m³/ton og en halveringstid på 15 år.

I alt er der deponeret 236.621 tons blandet affald på etape 1 til dato, /3/. Affaldet fordeler sig i dag på følgende affaldsfraktioner: 25 % industri, 30 % bygge- og anlæg, 40 % genbrugsplads og 5 % slam, /3/. Det har ikke været muligt geografisk at opdele affaldstyperne mere detaljeret på de enkelte deletaper.

Det betyder, at affaldssammensætningen siden 1997 har ændret sig fra, at indeholde en stor fraktion af organisk materiale til at indeholde en relativt lille fraktion af organisk indhold.

Da det ikke er oplyst fra /3/, hvor meget slam og andet organisk materiale, der er deponeret på etape 1 i årene 1998 – 2007, forventes affaldssammensætningen førhen at have været som moderat omsætteligt affald, men i dag som svært omsætteligt affald. Derfor er der foretaget to beregninger. Den første beregning tager udgangspunkt i forudsætningerne om affaldssammensætning og gaspro-

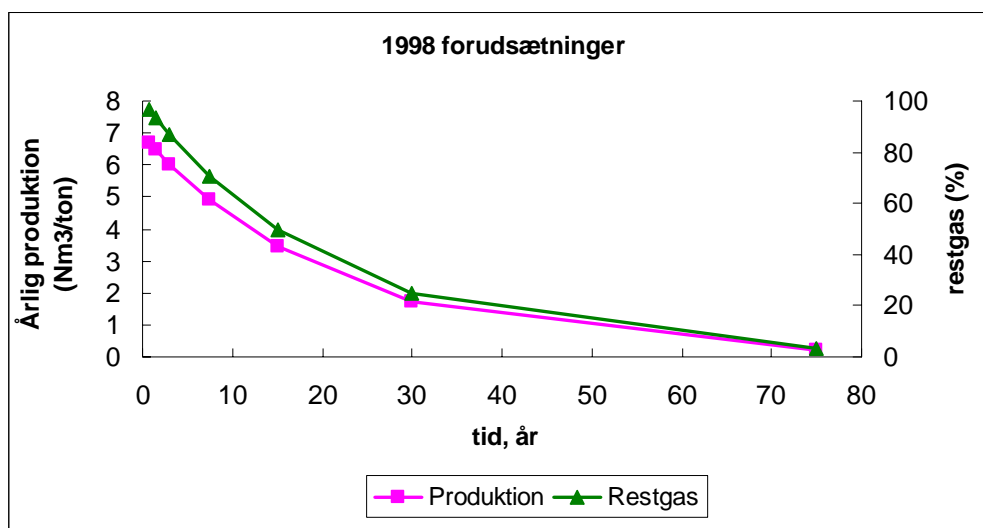
duktion fra 1998. I den anden beregning er halveringstiden antaget at være 25 år og gasproduktionen antaget at være 60 m³/ton affald (svarende til de laveste tal for gasproduktion og halveringstid anført i /5/).

Det er i begge beregninger antaget, at der i 2008 deponeres 14.000 t affald, svarende til den mængde, der er deponeret i 2007, /3/.

Beregning af gasproduktion

Beregning af gasproduktionen fra etape 1 er foretaget ved hjælp af Miljøstyrelsens regneark JAGG v. 1.5.

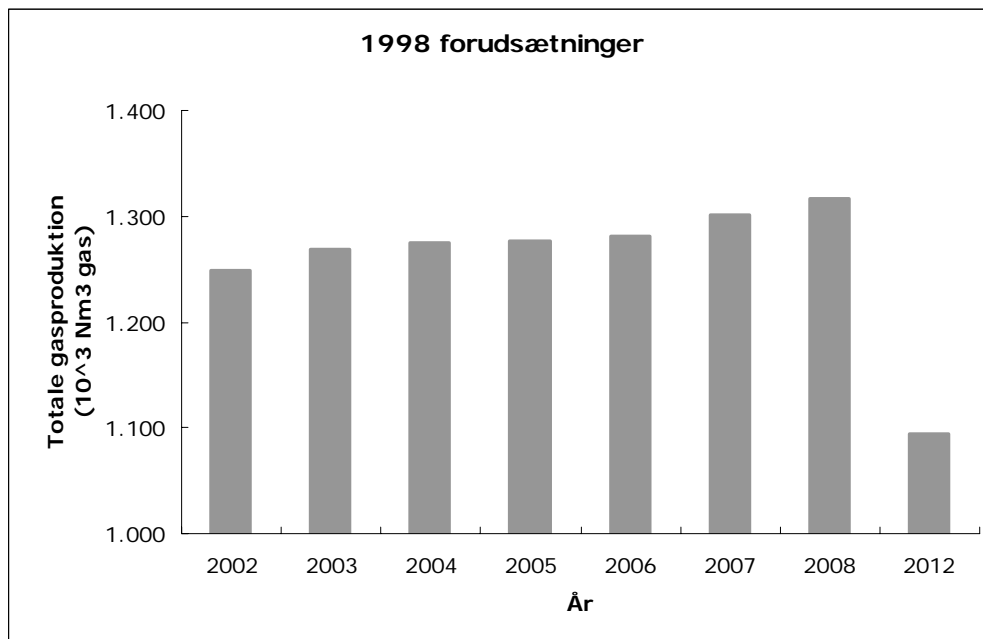
Forudsætninger fra 1998



Figur 2. Graf over den estimerede gasproduktionen på etape 1. Gasproduktion 150 m³/t og t_{1/2} 15 år.

Ud fra det oplyste om affaldets art og alder, /2/ og /3/, er det ved beregningen antaget, at al affaldet er deponeret i 2002. Nulpunktet for kurven i figur 2 svarer derfor til år 2002.

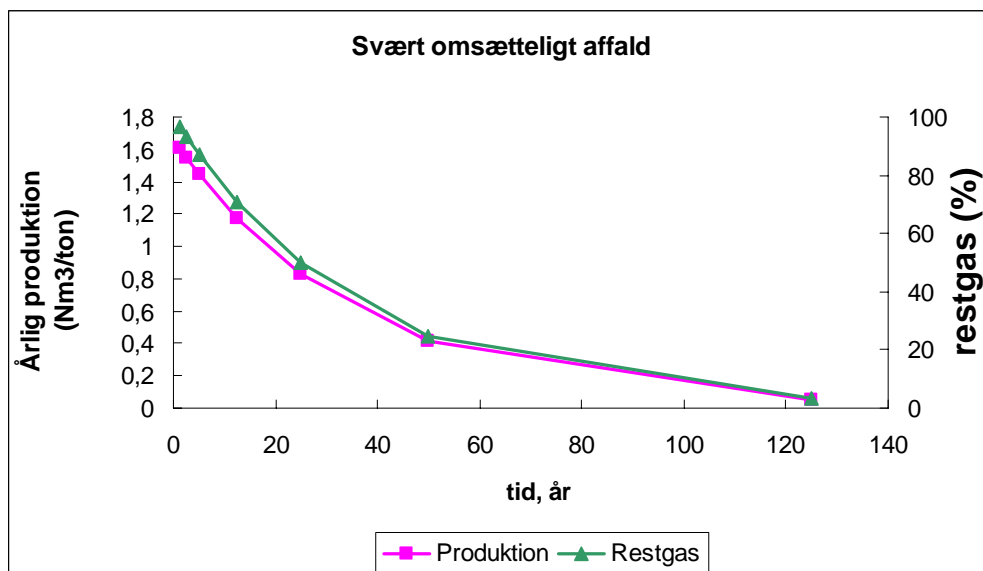
På denne baggrund er det beregnet, at gasproduktionen fra etape 1 i 2008 er på ca. 5,5 Nm³/t. Beregningsresultaterne er vedlagt i bilag 2. Det betyder, at affaldsmængden på 236.621 tons producerer 1,3 mio. Nm³ gas i 2008, jf. figur 3 og bilag 2.



Figur 3. Diagram over den estimerede totale gasproduktion fordelt på år. Det er forudsat, at der i løbet af 2008 deponeres 14.000 t blandet affald.

Forudsætninger for svært omsætteligt affald

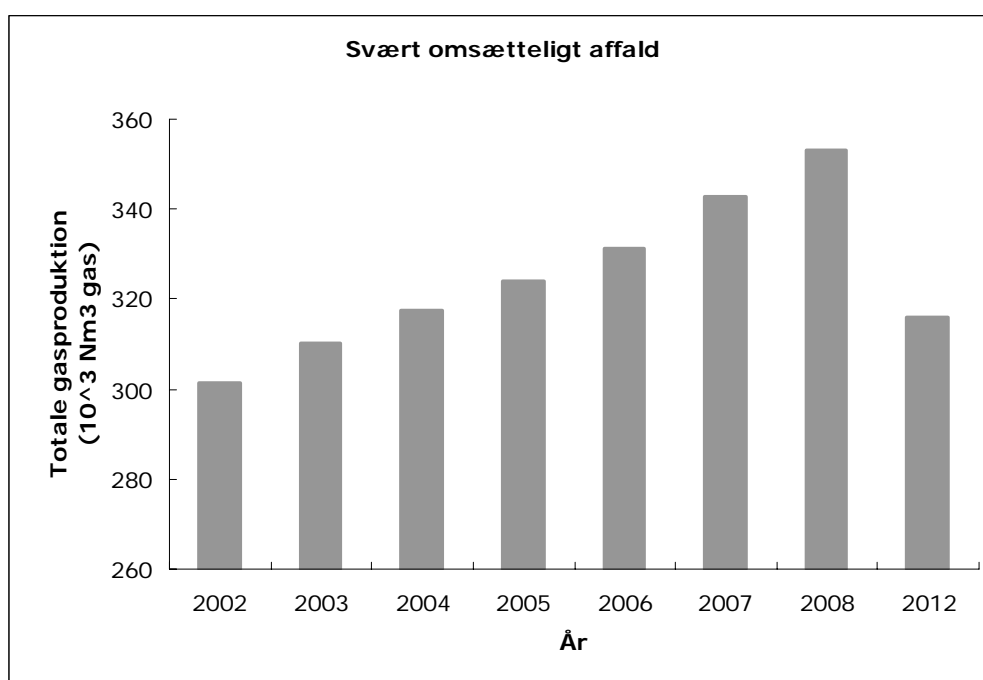
Der er i denne beregning taget højde for, at affaldets sammensætning har forandret sig fra 1998 til nu. Derfor er gasproduktionen sat til 60 m³/ton og halveringstiden til 25 år /5/.



Figur 4. Graf over den estimerede gasproduktionen på etape 1. Gasproduktion 60 m³/t og t_{1/2} 25 år.

Ud fra det oplyste om affaldets art og alder, /2/ og /3/, er det ved beregningen antaget, at al affaldet er deponeret i 2002. Nulpunktet for kurven i figur 4 svarer derfor til år 2002.

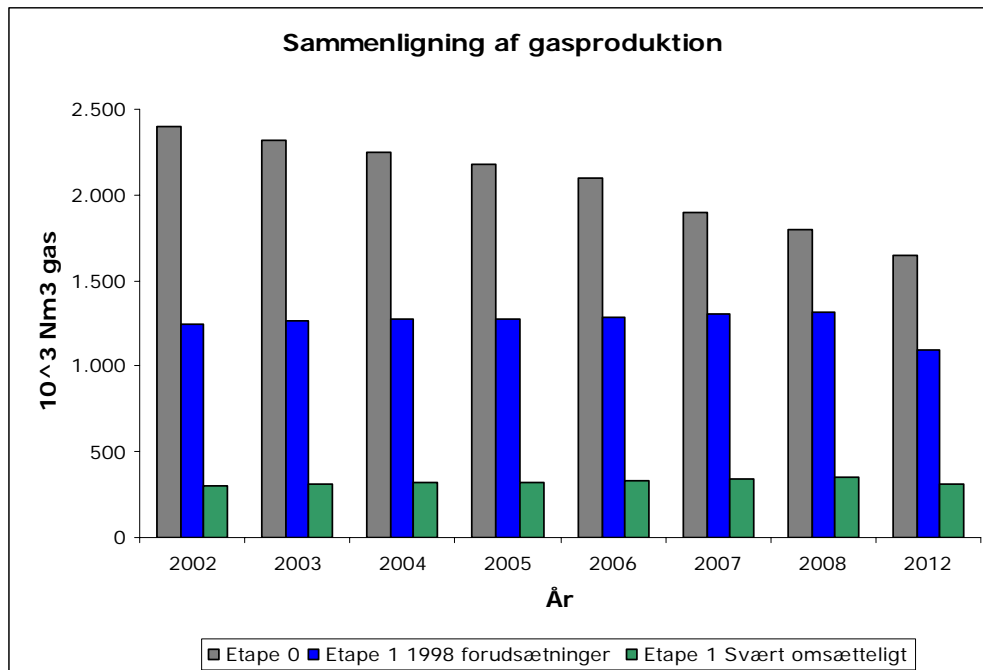
På denne baggrund er det beregnet, at gasproduktionen fra etape 1 i 2008 er på ca. 1,4 Nm³/t, jf. figur 4. Beregningsresultaterne er vedlagt i bilag 2. Det betyder, at affaldsmængden på 236.621 tons producerer ca. 330.000 mio. Nm³ gas i 2008, jf. figur 5 og bilag 2.



Figur 5. Diagram over den estimerede totale gasproduktion fordelt på år. Det er forudsat, at der i løbet af 2008 deponeres 14.000 t blandet affald.

Sammenfattende konklusion

Sammenlignes den estimerede gasproduktion for etape 0 og etape 1 med forskellige forudsætninger, ser det ud som i figur 6.



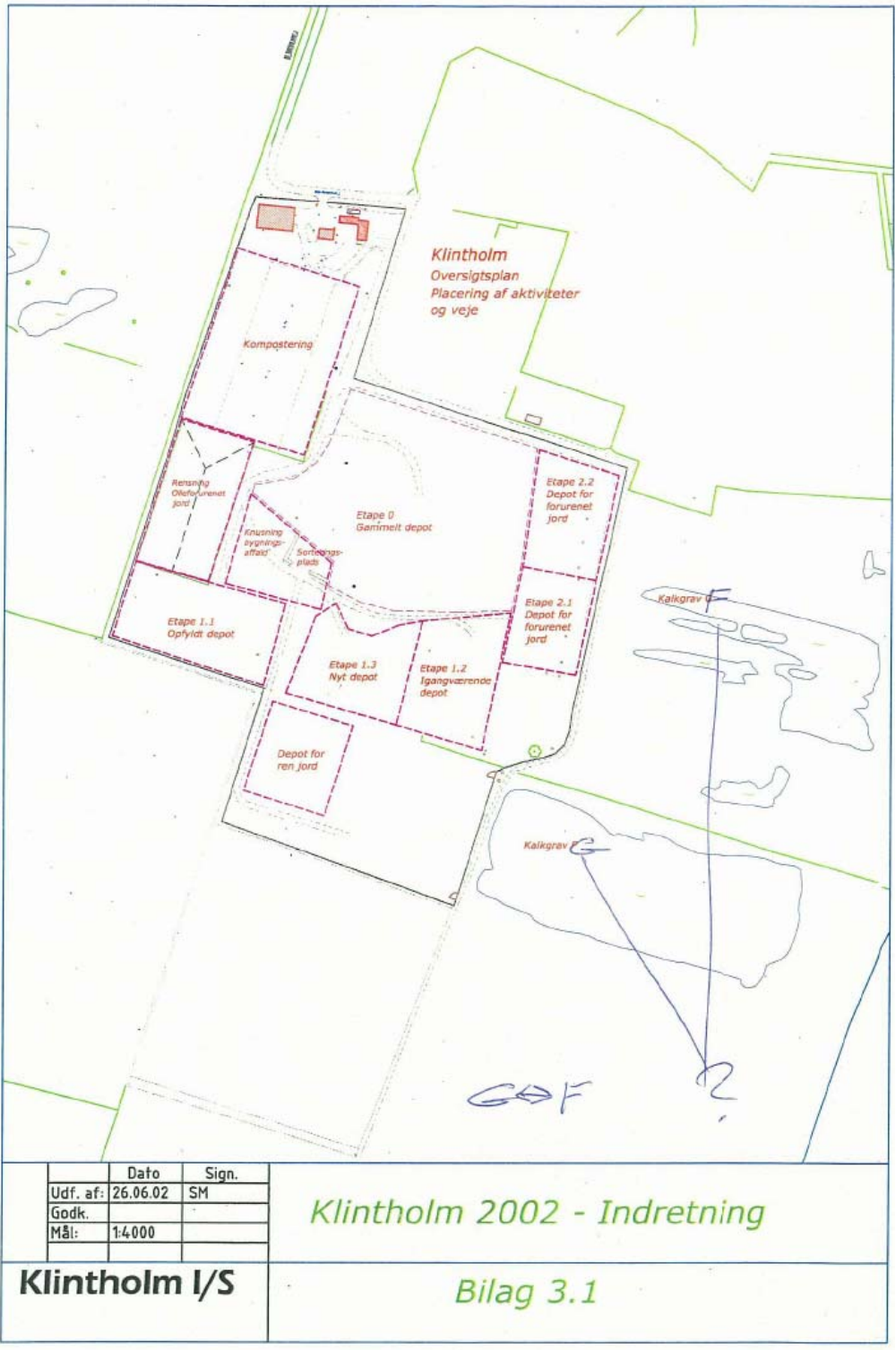
Figur 6. Sammenligning af estimeret gasproduktion for etape 0 og 1 med forskellige forudsætninger.

Referencer

- /1/ Klintholm deponigas. Prøvepumpningsrapport, marts 1998, Krüger
- /2/ Klintholm I/S. Overgangsplan 2002, Jørgen Henrik B. Jørgensen og Steffen Magelund
- /3/ Oplysninger modtaget pr. mail fra Klintholm I/S, Jørgen Henrik B. Jørgensen, februar 2008
- /4/ Miljøstyrelsen. Vejledning om oprydning på forurenede lokaliteter, nr. 6 og 7, 1998.
- /5/ Affaldsteknologi. Thomas H. Christensen, Teknisk Forlag 1998

Bilag 1

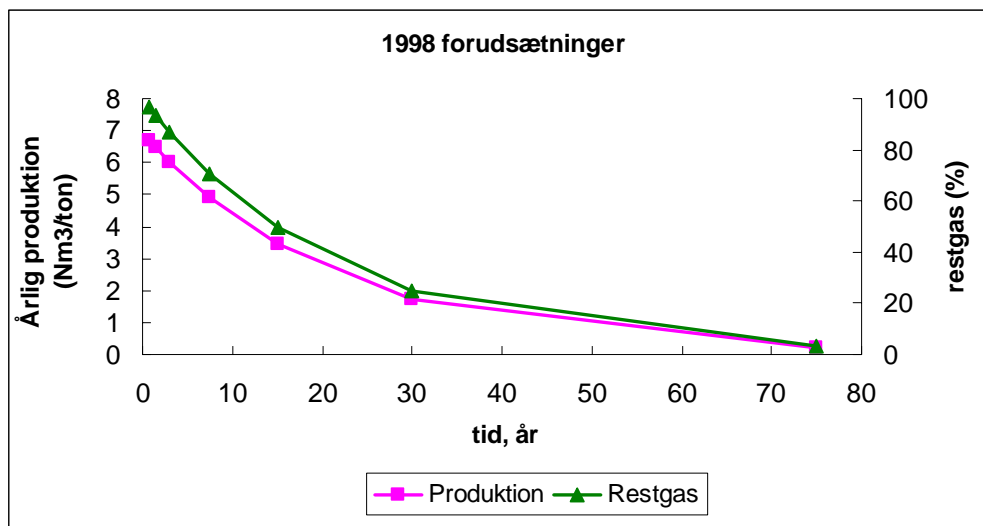
Inddeling af etaper på Klintholm



Bilag 2

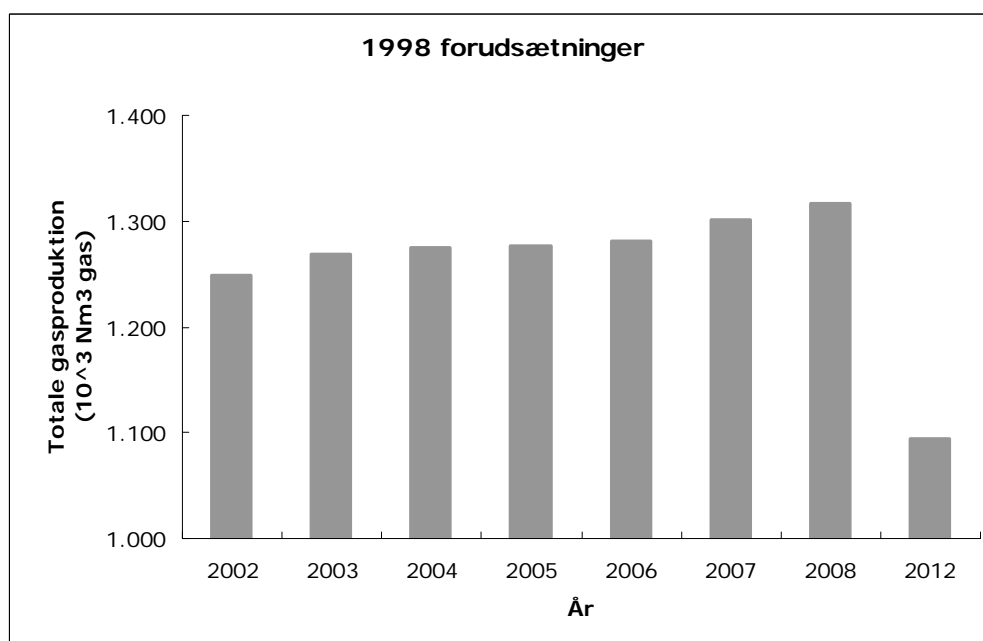
Beregninger og grafer

Beregninger i JAGG



Beregninger der danner grundlag for grafen "1998 forudsætninger"

nedbrydningskonstant	k	0,046209812								
base	btid	15								
Tid	t	0,3	0,75	1,5	3	7,5	15	30	75	år
Produktion	dP/dt	6,836044185	6,69536	6,467292	6,034197	4,901291	3,465736	1,732868	0,216608	Nm3/ton
Restgas		98,62327045	96,59363	93,3033	87,05506	70,71068	50	25	3,125	%

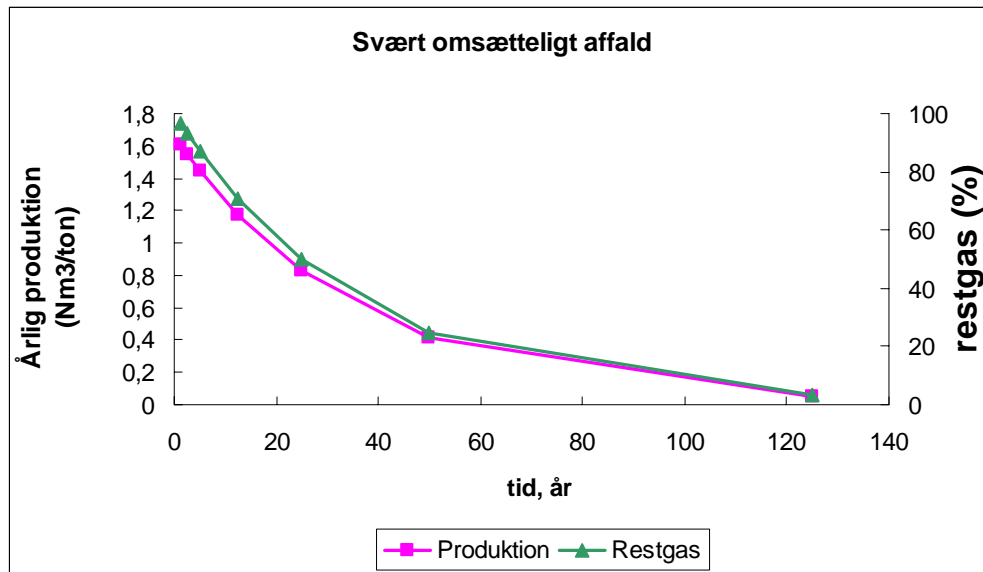


Graf for den totale gasproduktion per år

Beregninger der danner grundlag for grafen. Det er forudsat, at der i løbet af 2008 deponeres 14.000 t blandet affald.

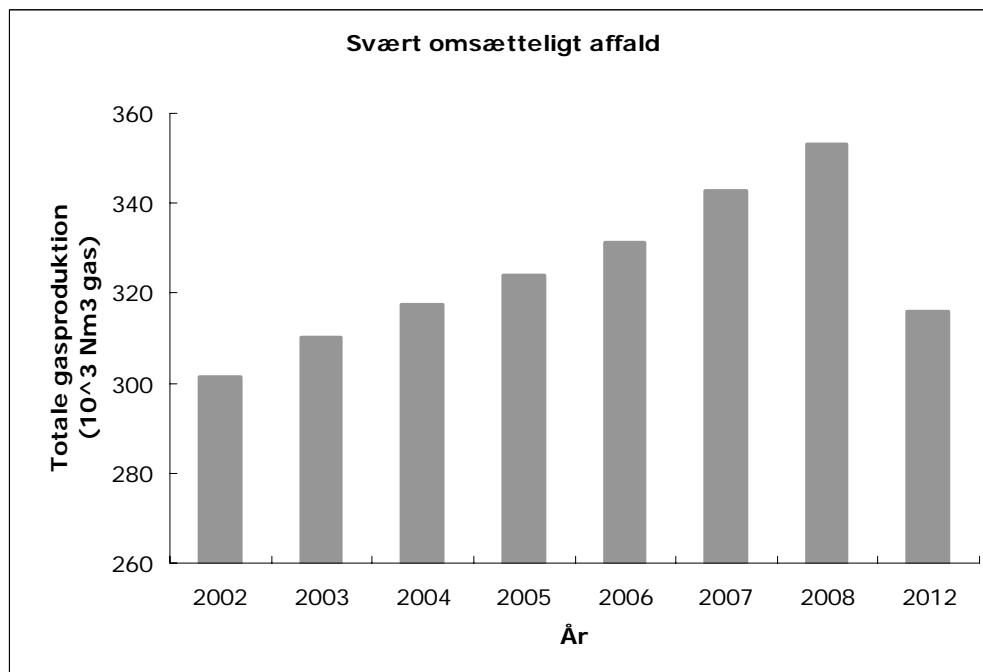
	År	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2012
	Tid, år	0	1	2	3	4	5	6	10
Gasproduktion	Nm ³ /ton	6,8	6,6	6,3	6,0	5,8	5,5	5,3	4,4
Affaldsmængde	Tons	182.587	191.759	201.768	211.560	222.389	236.621	250.621	250.621
Total produktion	Nm ³	1.248	1.269	1.275	1.277	1.281	1.302	1.317	1.094

$$Total\ gasproduktion = Nm^3/ton \cdot tons\ affald = 6,8 \cdot 182.587 = 1.248 \cdot 10^3\ Nm^3$$



Beregninger der danner grundlag for grafen "Svært omsætteligt affald"

nedbrydningskonstant	k	0,027725887								
base	btid	25								
Tid	t	0,5	1,25	2,5	5	12,5	25	50	125	år
Produktion	dP/dt	1,640650604	1,606887	1,55215	1,448207	1,17631	0,831777	0,415888	0,051986	Nm3/ton
Restgas		98,62327045	96,59363	93,3033	87,05506	70,71068	50	25	3,125	%

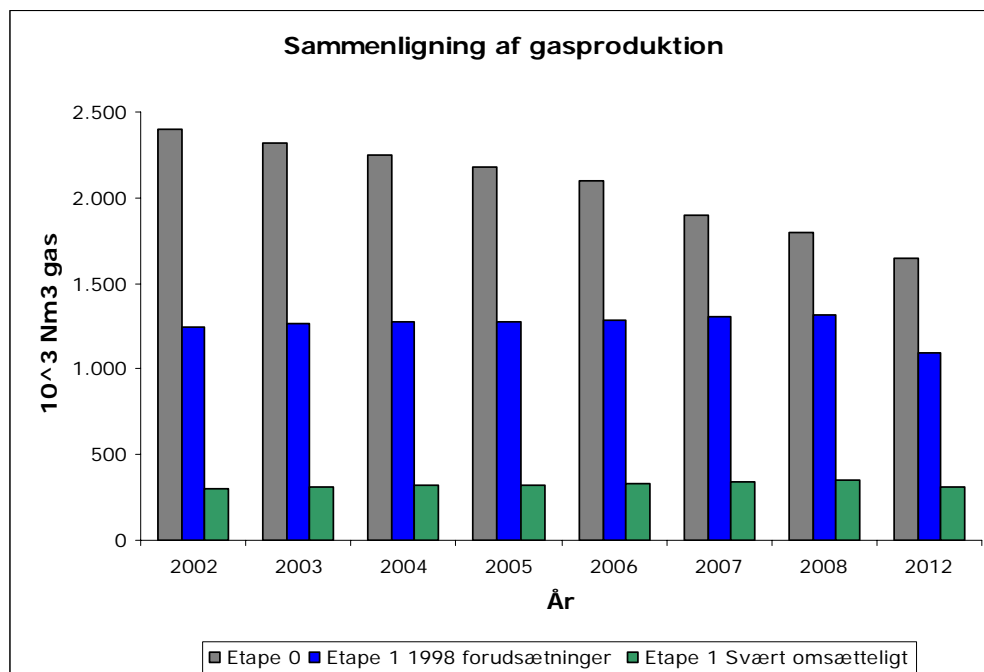


Graf for den totale gasproduktion per år

Beregninger der danner grundlag for grafen. Det er forudsat, at der i løbet af 2008 deponeres 14.000 t blandet affald.

	År	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2012
	Tid, år	0,3	1	2	3	4	5	6	10
Gasproduktion	Nm ³ /ton	1,6	1,6	1,6	1,5	1,5	1,4	1,4	1,3
Affaldsmængde	Tons	182.587	191.759	201.768	211.560	222.389	236.621	250.621	250.621
Total produktion	Nm ³	301	310	318	324	331	343	353	316

$$\text{Total gasproduktion} = \text{Nm}^3/\text{ton} \cdot \text{tons affald} = 1,3 \cdot 182.587 = 300 \cdot 10^3 \text{ Nm}^3$$



Sammenligning af estimeret gasproduktion for etape 0 og 1 med forskellige forudsætninger.

	År	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2012
Etape 0	Nm3	2.400	2.320	2.250	2.180	2.100	1.900	1.800	1.650
Etape 1 1998 forudsætninger	Nm3	1.248	1.269	1.275	1.277	1.281	1.302	1.317	1.094
Etape 1 Svært omsætteligt	Nm3	301	310	318	324	331	343	353	316

Værdierne for etape 0 er vurderet ud fra figur 1.

LUFA-ITL GmbH

Dr.-Heil-Str. 6, 24107 Kiel, Germany
Tel.: +49(0431)1228-0, Fax: +49(0431)1228-498
eMail: zentrale@lufa-itz.de

LUFA - ITL Dr.-Heil-Str. 6, 24107 Kiel

KLINTHOLM I/S
KLINTHOLMVEJ 50
5874 HESSELAGER
DANEMARK



AGROLAB
Laborgruppe
www.agrolab.de

Je ⇒ JH

Kompostprober fra
Vindwerne.
- er sendt til Peking Per

Date 02.11.2009
Customer no. 10041961
Page 1 of 6

TEST REPORT

Order no. 645692 / 2

This test report, version 2, replaces all prior test reports. The changes concern sample(s): 845207 / 845209.

Sample No. 845207 / 2

Order No. Kompost fra Biocover

Sample Arrival 25.09.2009

Sampling Date 15.09.2009

Sampling Crew Client

Sample code Sample 1 a

Matrix compost

	Unit	Value in OM	Value in DM	Method
physical parameters				
extraneous matter > 2mm (total)	%		0,23	Method book of BGK
glas	%		0,21	Method book of BGK
plastic	%		0,02	Method book of BGK
metal	%		0,00	Method book of BGK
stones > 5mm	%		6,12	Method book of BGK
gross density	g/l	869,0		Method book of BGK

Physico-chemical parameters

Moisture	%	24,8		MB BGK A1; Drying furnace
organic matter	%	13,8	18,3	DIN 38414-S3
pH-value		6,9		VDLUF-A-Methodenbuch 1A5.1.1
salt content	gKCl/l	3,32		VDLUF A 1A10.1.1

Plant nutrients

Nitrogen total	%	0,55	0,73	Procedure after Kjeldahl
total phosphate (P2O5)	%	0,83	1,1	EN ISO 11885
total potassium (K2O)	%	1,387	1,945	EN ISO 11885
total magnesium (MgO)	%	0,77	1,02	EN ISO 11885
alkaline-effective substances (CaO)	%	2,40	3,19	AbfKlarV 92/04
Ammonium (NH4)	mg/l	0,172		Method book of BGK
nitrate-N (sol.)	%	0,04	0,05	VDLUF A (CaCl2-Extract)
Sodium (Na)	mg/kg	1710	2270	EN ISO 11885
Calcium (CaO)	%	2,38	3,17	EN ISO 11885
sulfur (S) total content	%	0,09	0,12	EN ISO 11885

biological parameters

bioreactivity (AT4)	mg O2/g	0,53	0,70	Method book of BGK
degree of maturity		V		Method book of BGK

Trace-Elements/Heavy-Metals

Copper (Cu)	mg/kg	227,6	302,7	EN ISO 11885
Zinc (Zn)	mg/kg	382,0	508,0	EN ISO 11885



LUFA-ITL GmbH

Dr.-Hell-Str. 6, 24107 Kiel, Germany
Tel.: +49(0431)1228-0, Fax: +49(0431)1228-498
eMail: zentrale@lufa-iti.de



Order no. 645692 / 2 Sample No. 845207 / 2

Date 02.11.2009
Customer no. 10041961
Page 2 of 6

hygiene	Unit	Value in OM	Value in DM	Method
germinable seeds and plants	per l	0		Method book of BGK
Heavy Metals / Metals				
Arsenic (As)	mg/kg	3,6	4,8	DIN 38406-E29
Lead (Pb)	mg/kg	32,1	42,7	EN ISO 11885
Cadmium (Cd)	mg/kg	<0,38	<0,50	EN ISO 11885
Chromium (Cr)	mg/kg	10,2	13,5	EN ISO 11885
Nickel (Ni)	mg/kg	8,80	11,7	EN ISO 11885
Mercury (Hg)	mg/kg	0,05	0,07	EN 1483
Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH)				
Acenaphthene	mg/kg	0,226	0,300	VDLUF VII 3.3.3
Acenaphthylene	mg/kg	0,0398	0,0529	VDLUF VII 3.3.3
Benzo(a)anthracene	mg/kg	<0,0376	<0,0500	VDLUF VII 3.3.3
Benzo(a)pyrene	mg/kg	0,0902	0,120	VDLUF VII 3.3.3
Benzo(b)fluoranthene	mg/kg	0,102	0,136	VDLUF VII 3.3.3
Benzo(ghi)perylene	mg/kg	0,0646	0,0859	VDLUF VII 3.3.3
Benzo(k)fluoranthene	mg/kg	0,0403	0,0536	VDLUF VII 3.3.3
Chrysene	mg/kg	0,0797	0,106	VDLUF VII 3.3.3
Fluoranthene	mg/kg	0,0835	0,111	VDLUF VII 3.3.3
Indeno(1,2,3-c,d)pyrene	mg/kg	0,107	0,142	VDLUF VII 3.3.3
Naphthalene	mg/kg	<0,0376	<0,0500	VDLUF VII 3.3.3
Phenanthrene	mg/kg	<0,0376	<0,0500	VDLUF VII 3.3.3
Fluorene	mg/kg	0,0556	0,0739	VDLUF VII 3.3.3
Pyrene	mg/kg	0,0675	0,0898	VDLUF VII 3.3.3
Anthracene	mg/kg	<0,0376	<0,0500	VDLUF VII 3.3.3
Dibenz(ah)anthracene	mg/kg	<0,0376	<0,0500	VDLUF VII 3.3.3
PAH (EPA) - sum	mg/kg	0,956 ^{v)}	1,27	VDLUF VII 3.3.3
Other Analyses				
LAS	mg/kg	<3,76	<5,00	Methanolextraktion, HPLC-MS ^{v)}
TOC	%	7,60	10,1	ISO 10694
C:N ratio			15	calculated
DEHP	mg/kg	0,59	0,79	GC-MSD
NP/NPE parameters				
Nonylphenol	mg/kg	0,08	0,11	GC-MSD

Explanation: "<", n.d.: not detected, below limit of detection.

The actual limit of detection can be different to the standard value for a particular analysis due to matrix effects or insufficient sample volume.

x) The sum calculation is done without taking into account the report limits.

Remark: OM=original matter, DM=dry matter

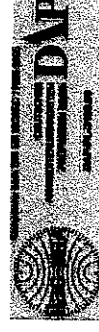
n) Not accredited

v) Remitted to an accredited laboratory

LUFA - ITL Herr Gosch, Tel. 0431/1228-110
Account Manager

This electronically transmitted report was checked and released. It's in accordance with the requirements of DIN EN ISO/IEC 17025:2005 for simplified reports and valid without signature.

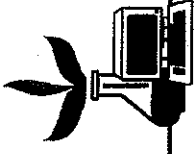
Copies



LUFA-ITL GmbH

Dr.-Hell-Str. 6, 24107 Kiel, Germany
Tel.: +49(0)431)1228-0, Fax: +49(0)431)1228-498
eMail: zentrale@lufa-iti.de

AGROLAB
Laborgruppe
www.agrolab.de



Date 02.11.2009
Customer no. 10041961
Page 3 of 6

Order no. 645692 / 2 Sample No. 845207 / 2
KLINTHOLM I/S

External laboratory

Eurofins-AUA GmbH, Löbstedter Str. 78, 07749 Jena

Parameter

Nonylphenol DEHP

LUFA Nord-West, Finkenborner Weg 1a, 31787 Hameln

Parameter

LAS

PLANCOTEC / INFU, KARLSBRUNNENSTR. 11 B, 37249 NEU-EICHENBERG

Parameter

bioactivity (AT4)
stones > 5mm
salt content

germinable seeds and plants
degree of maturity

extraneous matter > 2mm (total)
gross density

The analytical results are valid for the delivered sample material only. The testing period is the time between the receipt of the sample and the reporting date. Validation of results is not possible for samples of unknown origin.



LUFA-ITL GmbH

Dr.-Hell-Str. 6, 24107 Kiel, Germany
Tel.: +49(0)431)1228-0, Fax: +49(0)431)1228-498
eMail: zentrale@lufa-iti.de

LUFA - ITL Dr.-Hell-Str. 6, 24107 Kiel

KLINTHOLM I/S
KLINTHOLMVEJ 50
5874 HESSELAGER
DANEMARK



TEST REPORT

Order no. 645692 / 2

Sample No. 845209 / 2
Order No. Kompost fra Biocover
Sample Arrival 25.09.2009
Sampling Date 15.09.2009
Sampling Crew Client
Sample code Sample 1 b
Matrix compost

Date 02.11.2009
Customer no. 10041961
Page 4 of 6

	Unit	Value in OM	Value in DM	Method
physical parameters				
extraneous matter > 2mm (total)	%		0,28	Method book of BGK
glas	%		0,24	Method book of BGK
plastic	%		0,00	Method book of BGK
metal	%		0,04	Method book of BGK
stones > 5mm	%		6,21	Method book of BGK
gross density	g/l	964,0		Method book of BGK

Physico-chemical parameters				
Moisture	%	25,1		MB BGK A1; Drying furnace
organic matter	%	10,9	14,5	DIN 38414-S3
pH-value		7,3		VDLUFA-Methodenbuch 1A5.1.1
salt content	gKC/l	3,54		VDLUFA 1A10.1.1

Plant nutrients				
Nitrogen total	%	0,51	0,68	Procedure after Kjeldahl
total phosphate (P2O5)	%	0,82	1,1	EN ISO 11885
total potassium (K2O)	%	1,338	1,786	EN ISO 11885
total magnesium (MgO)	%	0,76	1,01	EN ISO 11885
alkaline-effective substances (CaO)	%	2,33	3,11	AbfKlarV 92/04
Ammonium (NH4)	mg/l	0,374		Method book of BGK
nitrate-N (sol.)	%	0,04	0,05	VDLUFA (CaCl2-Extract)
Sodium (Na)	mg/kg	1630	2170	EN ISO 11885 n)
Calcium (CaO)	%	7,40	9,88	EN ISO 11885
sulfur (S) total content	%	0,08	0,11	EN ISO 11885

biological parameters				
biocactivity (AT4)	mg O2/g	0,46	0,61	Method book of BGK
degree of maturity		V		Method book of BGK n)

Trace-Elements/Heavy-Metals				
Copper (Cu)	mg/kg	79,4	106,0	EN ISO 11885
Zinc (Zn)	mg/kg	374,6	500,1	EN ISO 11885

hygiene				
germinable seeds and plants	per l	0		Method book of BGK



LUFA-ITL GmbH

Dr.-Hell-Str. 6, 24107 Kiel, Germany
Tel.: +49(0431)1228-0, Fax: +49(0431)1228-498
eMail: zentrale@lufa-iti.de



AGROLAB
Laborgruppe
www.agrolab.de

Date 02.11.2009
Customer no. 10041961
Page 5 of 6

Order no. 645692 / 2 Sample No. 845209 / 2

Heavy Metals / Metals

	Unit	Value in OM	Value in DM	Method
Arsenic (As)	mg/kg	3,4	4,6	DIN 38406-E29
Lead (Pb)	mg/kg	28,8	38,4	EN ISO 11885
Cadmium (Cd)	mg/kg	<0,37	<0,50	EN ISO 11885
Chromium (Cr)	mg/kg	11,3	15,1	EN ISO 11885
Nickel (Ni)	mg/kg	9,51	12,7	EN ISO 11885
Mercury (Hg)	mg/kg	0,05	0,07	EN 1483

Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH)

Acenaphthene	mg/kg	0,0831	0,111	VDLUF VII 3.3.3
Acenaphthylene	mg/kg	<0,0375	<0,0500	VDLUF VII 3.3.3
Benzo(a)anthracene	mg/kg	0,0410	0,0548	VDLUF VII 3.3.3
Benzo(a)pyrene	mg/kg	0,101	0,135	VDLUF VII 3.3.3
Benzo(b)fluoranthene	mg/kg	0,102	0,136	VDLUF VII 3.3.3
Benzo(ghi)perylene	mg/kg	0,0809	0,108	VDLUF VII 3.3.3
Benzo(k)fluoranthene	mg/kg	0,0446	0,0596	VDLUF VII 3.3.3
Chrysene	mg/kg	0,0876	0,117	VDLUF VII 3.3.3
Fluoranthene	mg/kg	0,0861	0,115	VDLUF VII 3.3.3
Indeno(1,2,3-c,d)pyrene	mg/kg	0,0899	0,120	VDLUF VII 3.3.3
Naphthalene	mg/kg	<0,0375	<0,0500	VDLUF VII 3.3.3
Phenanthrene	mg/kg	0,0414	0,0553	VDLUF VII 3.3.3
Fluorene	mg/kg	<0,0375	<0,0500	VDLUF VII 3.3.3
Pyrene	mg/kg	0,0675	0,0901	VDLUF VII 3.3.3
Anthracene	mg/kg	<0,0375	<0,0500	VDLUF VII 3.3.3
Dibenz(ah)anthracene	mg/kg	<0,0375	<0,0500	VDLUF VII 3.3.3
PAH (EPA) - sum	mg/kg	0,825 ⁿ⁾	1,10	VDLUF VII 3.3.3

Other Analyses

LAS	mg/kg	<3,75	<5,00	Methanolextraktion, HPLC-MS ^{v)}
TOC	%	9,29	12,4	ISO 10694
C:N ratio			12	calculated
DEHP	mg/kg	<0,08	<0,10	GC-MSD

NP/NPE parameters

Nonylphenol	mg/kg	<0,07	<0,10	GC-MSD
-------------	-------	-------	-------	--------

Explanation: "ⁿ⁾", n.d.: not detected, below limit of detection.

The actual limit of detection can be different to the standard value for a particular analysis due to matrix effects or insufficient sample volume.

x) The sum calculation is done without taking into account the report limits.

Remark: OM=original matter, DM=dry matter

n) Not accredited

v) Remitted to an accredited laboratory

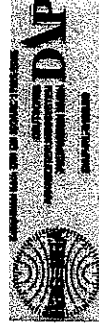
LUFA - ITL Herr Gosch, Tel. 0431/1228-110
Account Manager

This electronically transmitted report was checked and released. It's in accordance with the requirements of DIN EN ISO/IEC 17025:2005 for simplified reports and valid without signature.

Copies

KLINTHOLM I/S

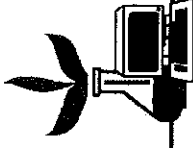
External laboratory



LUFA-ITL GmbH

Dr.-Heil-Str. 6, 24107 Kiel, Germany
Tel.: +49(0)431)1228-0, Fax: +49(0)431)1228-498
eMail: zentrale@lufa-iti.de

AGROLAB
Laborgruppe
www.agrolab.de



Date 02.11.2009
Customer no. 10041961
Page 6 of 6

Order no. 645692 / 2 Sample No. 845209 / 2

Eurofins-AUA GmbH, Löbstedter Str. 78, 07749 Jena		
Parameter		
Nonylphenol	DEHP	
LUFA Nord-West, Finkenborner Weg 1a, 31787 Hameln		
Parameter		
LAS		
PLANCOTEC / INFU, KARLSBRUNNENSTR. 11 B, 37249 NEU-EICHENBERG		
Parameter		
bioactivity (AT4)	germinable seeds and plants	extraneous matter > 2mm (total)
stones > 5mm	degree of maturity	gross density
salt content		

The analytical results are valid for the delivered sample material only. The testing period is the time between the receipt of the sample and the reporting date. Validation of results is not possible for samples of unknown origin.



Eurofins Miljø A/S
Smedskovvej 38
8464 Gallen
Telefon: 7022 4266
CVR/VAT: DK-2884 8196



Klintholm I/S

Klintholmvej 50
5874 Hesselager

Att.: Jan Rasmussen

Reg. nr.: 837952
Kundens nr.: 81088
Ordrenr.: 832928

Modt. dato: 2008.04.09

Sidenr.: 1 af 4

ANALYSERAPPORT

Rekvirent.....: Klintholm I/S

Provested.....: Klintholmvej 50, 5874 Hesselager

Provetype.....: Klintholm losseplads Kompost - /24350006

Prøvetagning....: Kompost

Prøvetagning....: 2008.04.09 kl. 08:45

Prøvetagning....: Miljølaboratoriet I/S for Eurofins Miljø A/S (JRG)

Kundeoplysninger..:

Analyseperiode....: 2008.04.09 - 2008.05.21

Provenr.: 24710032

Prøve ID:

Prøvemærke:

Detekt.

Enheder

grænse

Metoder

Alle partikler > 5 mm	19.5 % i ts.	*DS405.9
Partikler 2-5 mm	2.72 % i ts.	*DS405.9
Sten > 5 mm	5.89 % i ts.	*DS405.9
Partikler, <5 mm	81.4 % i ts.	*DS 405.9
Partikler, <2 mm	59 % i ts.	*DS 405.9
Metal >2 mm	0.00 % i ts.	*Miljøprojekt470
Glas >2 mm	0.00 % i ts.	*Miljøprojekt470
Plast >2 mm	0.01 % i ts.	*Miljøprojekt470
Sum af synlige urenheder >2 mm	0.01 % i ts.	*Miljøprojekt470
Calciumcarbonat, kalkvirkning	4.5 % i ts.	0.50 *M-1009
Calciumcarbonat, kalkvirkning	21 kg/m3	5.0 *Beregning
Calciumcarbonat, kalkvirkning	28 kg/ton	5.000 *Beregning
Nitratkvælstof	0.009 kg/ton	*Miljøprojekt470
Nitratkvælstof	0.007 kg/m3	*Beregning
Ledningsværdi	9.0 10MS/cm	*PD VI 1
Ledningstal	1.2 10MS/cm	*PD III 6
Kaliumtal	797 mg/100g	2.0 *PD III 15
Kaliumtal	13 mækv/100 g	*Beregning
Magnesiumtal	58.2 mg/100g	*PD III 17
Magnesiumtal	5 mækv/100 g	*Beregning
Natriumtal	75 mg/100g	*PD III 16
Natriumtal	3 mækv/100 g	*Beregning
Kationkapacitet, CEC	42.2 mækv/100 g	0.002 *
Spiredygtige frø / plantedele	0 Ant./l	*M-6065
pH- værdi	8.2	*PD VI 2
Reaktionstal	8.3	*PD III 8
Tørstof	62.0 %	0.0020 DS 204 mod.
Glødetab på tørstof	18.0 % i ts.	0.0020 DS 204
Ammoniak+ammonium-N	0.15 kg/ton	*Miljøprojekt470

*) Ikke omfattet af akkrediteringen.

Tegnforklaring:

RSD : Relativ Analyseusikkerhed.

< : mindre end. i.p.: ikke påvist.

> : større end. i.m.: ikke målelig.

: ingen af parametrene er påvist.

Prøvningsresultaterne gælder udelukkende for de(n) undersøgte prøve(r).
Rapporten må ikke gengives, undtagen i sin helhed, uden prøvningslaboratoriets skriftlige godkendelse.



Klintholm I/S

Klintholmvej 50
5874 Hesselager

Registrernr.: 837952
Kundenr.: 81088
Ordrenr.: 832928

Att.: Jan Rasmussen

Modt. dato: 2008.04.09

Sidenr.: 2 af 4

ANALYSERAPPORT

Rekvirent.....: Klintholm I/S

Provested.....: Klintholmvej 50, 5874 Hesselager

Provetype.....: **Klintholm Losseplads Kompost - /24350006**

Prevedtagnings....: 2008.04.09 kl. 08:45

Prøvetager.....: Miljølaboratoriet I/S for Eurofins Miljø A/S (JRG)

Kundeoplysninger..:

Analyseperiode....: 2008.04.09 - 2008.05.21

Prøvenr.: 24710032

Prøve ID:

Detekt.

Prøvemærke:

Enheder

grænse

Metoder

Ammoniak+ammonium-N	0.12 kg/m ³	*Beregning
Kvælstof, total	5.8 kg/ton	0.005 NF1975:6/59/VKI
Kvælstof, total	4.4 kg/m ³	*Beregning
Phosphor, total	2200 mg/kg ts.	100 DS259/SM3120ICP
Phosphor, total	1.0 kg/m ³	0.100 *Beregning
Phosphor, total	1.3 kg/ton	0.100 Beregning
Magnesium (Mg)	1.3 kg/ton	*Beregning
Svovl, total	1600 mg/kg ts.	1.0 DS259/SM3120ICP
Rumvægt	0.76 ton/m ³	*DS/EN 10304
Svovl, total	0.77 kg/m ³	*Beregning
Svovl, total	1.0 kg/ton	*Beregning
Arsen (As)	5.0 mg/kg ts.	1.0 DS259/SM3120ICP
Bly (Pb)	21 mg/kg ts.	3.0 DS259/SM3120ICP
Cadmium (Cd)	0.39 mg/kg ts.	0.05 DS259/SM3120ICP
Calcium (Ca)	22000 mg/kg ts.	10 *DS259/SM3120ICP
Total Calcium som CaCO ₃	26 kg/m ³	*Beregning
Total Calcium som CaCO ₃	34 kg/ton	*Beregning
Calciumtal.	400 mg/100g	50.00 *PD III 18B
Calciumtal	20 mækv/100 g	*Beregning
Brintioner, ombyttelig	1.6 mækv/100 g	*PD III 10
Chrom (Cr)	9.8 mg/kg ts.	1.0 DS259/SM3120ICP
Kalium, (K)	6700 mg/kg ts.	20 DS259/SM3120ICP
Kalium, (K)	3.1 kg/m ³	*Beregning
Kalium, (K)	4.1 kg/ton	0.050 *Beregning
Kobber (Cu)	34 mg/kg ts.	1.7 DS259/SM3120ICP
Kviksølv (Hg)	0.06 mg/kg ts.	0.01 SM3112ASco.vap
Magnesium (Mg)	2100 mg/kg ts.	1.0 *DS259/SM3120ICP
Magnesium (Mg)	1.0 kg/m ³	*Beregning
Nikkel (Ni)	10 mg/kg ts.	1.0 DS259/SM3120ICP

*) Ikke omfattet af akkrediteringen.

Temforklaring:

RSD : Relativ Analyseusikkerhed.

< : mindre end. i.p.: ikke påvist.

> : større end. i.m.: ikke målelig.

: ingen af parametrene er påvist.

Prøvningsresultaterne gælder udelukkende for de(n) undersøgte prøve(r).
Rapporten må ikke gengives, undtagen i sin helhed, uden prøvningslaboratoriets skriftlige godkendelse.



Klintholm I/S

Klintholmvej 50
5874 Hesselager

Registrernr.: 837952
Kundenr.: 81088
Ordrenr.: 832928

Att.: Jan Rasmussen

Modt. dato: 2008.04.09

Sidenr.: 3 af 4

ANALYSERAPPORT

Rekvirent.....: Klintholm I/S

Prøvested.....: Klintholmvej 50, 5874 Hesselager

Prøvetype.....: Klintholm Losseplads Kompost - /24350006

Prøvetagning....: 2008.04.09 kl. 08:45

Prøvetager.....: Miljølaboratoriet I/S for Eurofins Miljø A/S (JRG)

Kundeoplysninger..:

Analyseperiode....: 2008.04.09 - 2008.05.21

Provenr.: 24710032

Prøve ID:

Provenmærke:

Detekt.

Enheder

grænse

Metoder

Zink (Zn) 130 mg/kg ts. 1.0 DS259/SM3120ICP

Bløddyr

Diethylhexylphthalat (DEHP)

<0.50 mg/kg ts. 0.50 GC/MS-SIM

Nonylphenoler

Nonylphenoler

<0.60 mg/kg ts. 0.60 GC/MS-SIM

Nonylphenolmonoethoxylater

<0.60 mg/kg ts. 0.60 GC/MS-SIM

Nonylphenoldiethoxylater

<0.60 mg/kg ts. 0.60 GC/MS-SIM

Sum af Nonylphenoler

mg/kg ts.

PAH-forbindelser

Acenaphthen

<0.020 mg/kg ts. 0.020 GC/MS

Fluoren

<0.020 mg/kg ts. 0.020 GC/MS

Phenanthren

<0.020 mg/kg ts. 0.020 GC/MS

Fluoranthen

0.084 mg/kg ts. 0.020 GC/MS

Pyren

0.063 mg/kg ts. 0.020 GC/MS

Benz(b+j+k)fluoranthen

0.22 mg/kg ts. 0.020 GC/MS

Benzo(a)pyren

0.090 mg/kg ts. 0.020 GC/MS

Indeno(1,2,3-cd)pyren

0.15 mg/kg ts. 0.020 GC/MS

Benzo(g,h,i)perylene

0.11 mg/kg ts. 0.020 GC/MS

Sum af 9 PAH

0.72 mg/kg ts.

Lineære alkylbenzensulfonater

LAS

<50 mg/kg ts. 50 HPLC

Selvopvarming

20.5 Tmax C gr. *Kompostan.3.4.4

Respiration pr.g org. tørstof

3.89 mgO2/g ts. *Miljøpr.xx1999

Solvita kompost test

6 Farvekode *Kompostan.3.4.3

Stabilitetsgrad

MEGET S - *Kompostan.3.4.6

Oplysninger fra prøvetageren:

Antal delprøver

30

Prøvetagningsmetode

PARTI

*) Ikke omfattet af akkrediteringen.

Tegnforklaring:

RSD : Relativ Analyseusikkerhed.

< : mindre end. i.p.: ikke påvist.

> : større end. i.m.: ikke målelig.

: ingen af parametrene er påvist.

Prøvningsresultaterne gælder udelukkende for de(n) undersøgte prøve(r).
Rapporten må ikke gengives, undtagen i sin helhed, uden prøvningslaboratoriets skriftlige godkendelse.



Klintholm I/S

Klintholmvej 50
5874 Hesselager

Registrernr.: 837952
Kundenr.: 81088
Ordrenr.: 832928

Att.: Jan Rasmussen

Modt. dato: 2008.04.09

Sidenr.: 4 af 4

ANALYSERAPPORT

Rekvirent.....: Klintholm I/S
Klintholmvej 50, 5874 Hesselager
Provested.....: **Klintholm Losseplads Kompost - /24350006**
Provetype.....: Kompost
Prøveudtagning....: 2008.04.09 kl. 08:45
Prøvetager.....: Miljølaboratoriet I/S for Eurofins Miljø A/S (JRG)
Kundeoplysninger.:
Analyseperiode...: 2008.04.09 - 2008.05.21

Prøvenr.: 24710032	Detekt.
Prøve ID:	grænse
Prøvemærke:	Enheder
	Metoder

Oplysninger fra prøvetageren:

Partistørrelse (ca.tons) 2500
Prøvetagningsudstyr JORDBOR

Produkttype
blandinger

Analysekommentarer:

Stabilitetsgrad = Meget stabil.

Kopi af rapporten er sendt til:

- Plantedirektoratet, Skovbrynet 20, 2800 Lyngby
- Miljøstyrelsen, Strandgade 29, 1401 København K, Danmark

Tegnforklaring:

RSD : Relativ Analyseusikkerhed.

- < : mindre end. i.p.: ikke påvist.
- > : større end. i.m.: ikke målelig.
- # : ingen af parametrene er påvist.

Prøvningsresultaterne gælder udelukkende for de(n) undersøgte prøve(r).
Rapporten må ikke gengives, undtagen i sin helhed, uden prøvningslaboratoriets skriftlige godkendelse.

22. maj 2008

Lars Møller Jensen
Kontaktperson

Lars Møller Jensen
Kvalitetssikring

Eurofins Miljø A/S
Smedskovvej 38
8464 Gallen
Telefon: 7022 4266
CVR/VAT: DK-2884 8196



Klintholm I/S

Klintholmvej 50
5874 Hesselager

Att.: Jan Rasmussen

Registrernr.: 827340
Kundenr.: 81088
Ordrenr.: 832928

Modt. dato: 2008.02.14

Sidenr.: 1 af 4

ANALYSERAPPORT

Rekvirent.....: Klintholm I/S

Provested.....: Klintholmvej 50, 5874 Hesselager

Provetype.....: **Klintholm Losseplads Kompost** - /24350006

Prøvedtagning....: 2008.02.14 kl. 11:15

Prøvetager.....: Miljølaboratoriet I/S for Eurofins Miljø A/S (XGR)

Kundeoplysninger.: Partiet indeholder ikke husholdningsaf fald. Sigte 45 m/m

Analyseperiode....: 2008.02.14 - 2008.04.03

45 mm gjenkompost

Prøvenr.: 24709479

Prøve ID:

Prøvemærke:

Detekt.

grænse

Metoder

Enheder	Metoder
Alle partikler > 5 mm	32.2 % i ts. *DS405.9
Partikler 2-5 mm	12.2 % i ts. *DS405.9
Sten > 5 mm	10.9 % i ts. *DS405.9
Partikler, <5 mm	67.8 % i ts. *DS 405.9
Partikler, <2 mm	56 % i ts. *DS 405.9
Metal >2 mm	0.00 % i ts. *Miljøprojekt470
Glas >2 mm	0.00 % i ts. *Miljøprojekt470
Plast >2 mm	0.00 % i ts. *Miljøprojekt470
Sum af synlige urenheder >2 mm	0.00 % i ts. *Miljøprojekt470
Calciumcarbonat, kalkvirkning	4.4 % i ts. 0.50 *M-1009
Calciumcarbonat, kalkvirkning	15 kg/m3 5.0 *Beregning
Calciumcarbonat, kalkvirkning	31 kg/ton 5.000 *Beregning
Nitratkvalstof	0.003 kg/ton *Miljøprojekt470
Nitratkvalstof	0.001 kg/m3 *Beregning
Ledningsværdi	4.6 10mS/cm *PD VI 1
Ledningstal	7.4 10mS/cm *PD III 6
Kaliumtal	422 mg/100g 2.0 *PD III 15
Kaliumtal	11 mækv/100 g *Beregning
Magnesiumtal	54.6 mg/100g *PD III 17
Magnesiumtal	5 mækv/100 g *Beregning
Natriumtal	31 mg/100g *PD III 16
Natriumtal	1 mækv/100 g *Beregning
Kationkapacitet, CEC	46.6 mækv/100 g 0.002 *
Spiredygtige frø / plantedele	0 Ant./l *M-6065
pH-værdi	7.5 *PD VI 2
Reaktionstal	7.5 *PD III 8
Tørstof	70.3 % 0.0020 DS 204 mod.
Glødetab på tørstof	34.8 % i ts. 0.0020 DS 204

*) Ikke omfattet af akkrediteringen.

Tegnforklaring:

RSD : Relativ Analyseusikkerhed.

< : mindre end. i.p.: ikke påvist.

> : større end. i.m.: ikke målelig.

: ingen af parametrene er påvist.

Prøvningsresultaterne gælder udelukkende for de(n) undersøgte prøve(r).

Rapporten må ikke gives, undtagen i sin helhed, uden prøvningslaboratoriets skriftlige godkendelse.

Eurofins Miljø A/S
Smedskovvej 38
8464 Gallen
Telefon: 7022 4266
CVR/VAT: DK-2884 8196



Klintholm I/S

Klintholmvej 50
5874 Hesselager

Registrernr.: 827340
Kundernr.: 81088
Ordrenr.: 832928

Att.: Jan Rasmussen

Modt. dato: 2008.02.14

Sidenr.: 2 af 4

ANALYSERAPPORT

Rekvirent.....: Klintholm I/S

Klintholmvej 50, 5874 Hesselager

Prøvested.....: **Klintholm Losseplads Kompost** - /24350006

Prøvetype.....: Kompost

Prøveudtagning...: 2008.02.14 kl. 11:15

Prøvetager.....: Miljølaboratoriet I/S for Eurofins Miljø A/S (XGR)

Kundeoplysninger.: Partiet indeholder ikke husholdningsaf
fald. Sigte 45 m/m

Analyseperiode....: 2008.02.14 - 2008.04.03

Prøvenr.: 24709479

Prøve ID:

Detekt.

Prøvenærke:

Enheder

grænse

Metoder

Ammoniak+ammonium-N	0.004 kg/ton	*Miljøprojekt470
Ammoniak+ammonium-N	0.002 kg/m ³	*Beregning
Kvælstof, total	5.8 kg/ton	0.005 NF1975:6/59/VKI
Kvælstof, total	2.8 kg/m ³	*Beregning
Phosphor, total	2300 mg/kg ts.	100 DS259/SM3120ICP
Phosphor, total	0.79 kg/m ³	0.100 *beregning
Phosphor, total	1.6 kg/ton	0.100 Beregning
Magnesium (Mg)	1.7 kg/ton	*Beregning
Svovl, total	1800 mg/kg ts.	1.0 DS259/SM3120ICP
Rumvægt	0.48 ton/m ³	*DS/EN 10304
Svovl, total	0.61 kg/m ³	*Beregning
Svovl, total	1.3 kg/ton	*Beregning
Arsen (As)	4.4 mg/kg ts.	1.0 DS259/SM3120ICP
Bly (Pb)	24 mg/kg ts.	3.0 DS259/SM3120ICP
Cadmium (Cd)	0.46 mg/kg ts.	0.05 DS259/SM3120ICP
Calcium (Ca)	24000 mg/kg ts.	10 *DS259/SM3120ICP
Total Calcium som CaCO ₃	20 kg/m ³	*Beregning
Total Calcium som CaCO ₃	41 kg/ton	*Beregning
Calciumtal	500 mg/100g	50.00 *PD III 188
Calciumtal	25 mækv/100 g	*Beregning
Brintioner, ombyttelig	5.1 mækv/100 g	*PD III 10
Chrom (Cr)	9.7 mg/kg ts.	1.0 DS259/SM3120ICP
Kalium, (K)	7400 mg/kg ts.	20 DS259/SM3120ICP
Kalium, (K)	2.5 kg/m ³	*Beregning
Kalium, (K)	5.2 kg/ton	0.050 *Beregning
Kobber (Cu)	37 mg/kg ts.	1.7 DS259/SM3120ICP
Kviksølv (Hg)	0.09 mg/kg ts.	0.01 SM3112AASco.vap
Magnesium (Mg)	2400 mg/kg ts.	1.0 *DS259/SM3120ICP

*) Ikke omfattet af akkrediteringen.

Tegnforklaring:

RSD : Relativ Analyseusikkerhed.

< : mindre end. i.p.: ikke påvist.

> : større end. i.m.: ikke målelig.

: ingen af parametrene er påvist.

Prøvningsresultaterne gælder udelukkende for de(n) undersøgte prøve(r).

Rapporten må ikke gengives, undtagen i sin helhed, uden prøvningslaboratoriets skriftlige godkendelse.

Klintholm I/S

Klintholmvej 50
5874 Hesselager

Att.: Jan Rasmussen

Registrernr.: 827340
Kundenr.: 81088
Ordrenr.: 832928

Modt. dato: 2008.02.14

Sidenr.: 3 af 4

ANALYSERAPPORT

Rekvirent.....: Klintholm I/S

Prøvested.....: Klintholmvej 50, 5874 Hesselager

Prøvetype.....: **Klintholm Losseplads Kompost** - /24350006

Prøvedato.....: Kompost

Prøvedato.....: 2008.02.14 kl. 11:15

Prøvetager.....: Miljølaboratoriet I/S for Eurofins Miljø A/S (XGR)
Kundeoplysninger.: Partiet indeholder ikke husholdningsaf-

fald. Sigte 45 m/m

Analyseperiode....: 2008.02.14 - 2008.04.03

Prøvenr.: 24709479

Prøve ID:

Detekt.

Prøvenmærke:

Enheder

grænse

Metoder

Magnesium (Mg)

Nikkel (Ni)

Zink (Zn)

Bledgørere

Diethylhexylphthalat (DEHP)

Nonylphenoler

Nonylphenoler

Nonylphenolmonooethoxylater

Nonylphenoldiethoxylater

Sum af Nonylphenoler

PAH-forbindelser

Acenaphthen

Fluoren

Phenanthren

Fluoranthren

Pyren

Benzo(b+j+k)fluoranthren

Benzo(a)pyren

Indeno(1,2,3-cd)pyren

Benzo(g,h,i)perylene

Sum af 9 PAH

Lineære alkylbenzensulfonater

LAS

Selvopvarmning

Respiration pr.g org. tørstof

Solvita kompost test

0.80 kg/m3

11 mg/kg ts.

130 mg/kg ts.

3.6 mg/kg ts.

<0.6 mg/kg ts.

<0.6 mg/kg ts.

<0.6 mg/kg ts.

mg/kg ts.

0.049 mg/kg ts.

0.060 mg/kg ts.

0.34 mg/kg ts.

0.34 mg/kg ts.

0.25 mg/kg ts.

0.22 mg/kg ts.

0.099 mg/kg ts.

0.092 mg/kg ts.

0.086 mg/kg ts.

1.5 mg/kg ts.

<50 mg/kg ts.

21.5 Tmax C gr.

2.81 mgO2/g ts.

3 Farvekode

*Beregning

1.0 DS259/SM3120ICP

1.0 DS259/SM3120ICP

0.50 GC/MS-SIM

0.60 GC/MS-SIM

0.60 GC/MS-SIM

0.60 GC/MS-SIM

0.020 GC/MS

0.020 GC/MS

0.020 GC/MS

0.020 GC/MS

0.020 GC/MS

0.020 GC/MS

0.020 GC/MS

0.020 GC/MS

0.020 GC/MS

50 HPLC

*Kompostan.3.4.4

*Miljøpr.xx1999

*Kompostan.3.4.3

*) Ikke omfattet af akkrediteringen.

Tegnforklaring:

RSD : Relativ Analyseusikkerhed.

< : mindre end. i.p.: ikke påvist.

> : større end. i.m.: ikke målelig.

: ingen af parametrene er påvist.

Prøvningsresultaterne gælder udelukkende for de(n) undersøgte prøve(r).

Rapporten må ikke gengives, undtagen i sin helhed, uden prøvningslaboratoriets skriftlige godkendelse.

Eurofins Miljø A/S
Smedskovvej 38
8464 Galten
Telefon: 7022 4266
CVR/VAT: DK-2884 8196



DANAK
TEST Reg.nr. 168

eurofins

Klintholm I/S

Klintholmvej 50
5874 Hesselager

Att.: Jan Rasmussen

Registrernr.: 827340
Kundenr.: 81088
Ordrenr.: 832928

Modt. dato: 2008.02.14

Sidenr.: 4 af 4

ANALYSERAPPORT

Rekvirent.....: Klintholm I/S
Provested.....: Klintholmvej 50, 5874 Hesselager
Provetype.....: **Klintholm Losseplads Kompost** - /24350006
Prøveudtagning....: 2008.02.14 kl. 11:15
Prøvetager.....: Miljølaboratoriet I/S for Eurofins Miljø A/S (XGR)
Kundeoplysninger.: Partiet indeholder ikke husholdningsaf-
fald. Sigte 45 m/m
Analyseperiode....: 2008.02.14 - 2008.04.03

Prøvenr.: 24709479

Prøve ID:

Prøvemærke:

Detekt.

Enheder

grænse

Metoder

Oplysninger fra prøvetageren:

Antal delprøver 30
Prøvetagningsmetode PARTI
Partistørrelse (ca.tons) 1500
Prøvetagningsudstyr JORDBOR
Produkttype
have-/parkaffald

Analysekommentarer:

spiredygtige frø kunne ikke påvises.
Stabilitetsgrad stabil.

Kopi af rapporten er sendt til:

- Plantedirektoratet, Skovbrynet 20, 2800 Lyngby
- Miljøstyrelsen, Strandgade 29, 1401 København K, Danmark

Tegnforklaring:

RSD : Relativ Analyseusikkerhed.

- < : mindre end. i.p.: ikke påvist.
- > : større end. i.m.: ikke målelig.
- # : ingen af parametrene er påvist.

Prøvningsresultaterne gælder udelukkende for de(n) undersøgte prøve(r).
Rapporten må ikke gengives, undtagen i sin helhed, uden prøvningslaboratoriets skriftlige godkendelse.

Lars Møller Jensen
Kontaktperson

Lars Møller Jensen
Kvalitetssikring

07/ april 2008

1 Estimeret gasproduktion på etape 0 og etape 1, DTU (Afvalzorg)

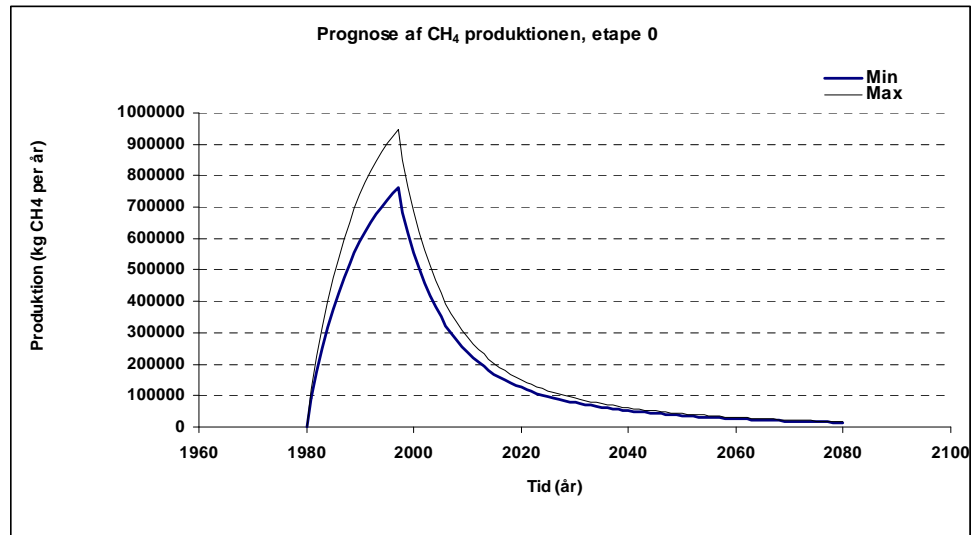
I dette bilag præsenteres resultaterne af de modelberegne gasproduktioner for etape 0 og etape 1 foretaget ved projektet afslutning. Beregningerne er udført med den hollandske Afvalzorg-multi-fase-model. Denne model, der er udviklet af det hollandske affaldsselskab Afvalzorg, vurderes at være den mest anvendelige model, da hollandske depoter er sammenlignelige med danske affaldsdepoter, hvad angår størrelse, udformning (f.eks. deponeringsdybde) og affaldssammensætning. Der er således opnået en del erfaringer med Afvalzorg-modellen i Danmark; i første omgang ved sammenligninger med andre gasproduktionsmodeller i forbindelse med projekter på deponierne, AV Miljø (Scheutz et al., 2011, Scheutz et al., 2007) og Fakse (Lemming & Kjeldsen, 2006). Modellen er, på basis af de danske erfaringer, blevet valgt som den foretrukne model til beregning af gasproduktion i forbindelse med indberetning af emissioner til PRTR-systemet for affaldsdeponeringsanlæg. Modellen er detaljeret beskrevet i den tilhørende rapport (Scheutz & Kjeldsen, 2011).

Den beregnede gasproduktion for etape 0 fremgår af afsnit 2, mens gasproduktionen for etape 1 er vist i afsnit 3.

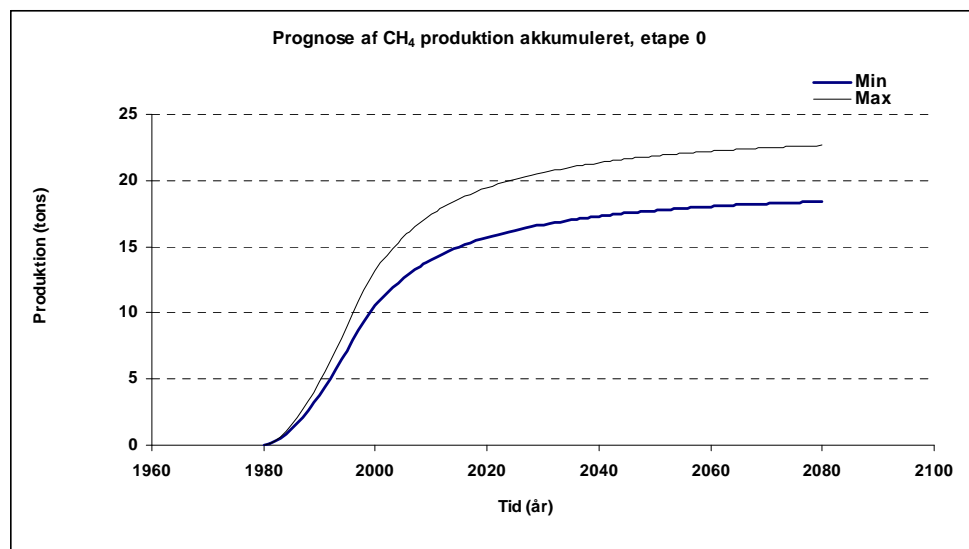
2 Gasprognose for etape 0

År [2]	CH4 produktion [1]		CH4 produktion akkumuleret		År [2]	CH4 produktion [1]		CH4 produktion akkumuleret	
	MIN kg år-1	MAX kg år-1	MIN Mg	MAX Mg		MIN kg år-1	MAX kg år-1	MIN Mg	MAX Mg
1980	0	0	0,0	0,0	2031	74429	88106	16,7	20,7
1981	94621	119797	0,1	0,1	2032	71338	84407	16,8	20,8
1982	178157	225251	0,3	0,3	2033	68426	80925	16,9	20,9
1983	252137	318371	0,5	0,7	2034	65678	77643	17,0	20,9
1984	317861	400859	0,8	1,1	2035	63083	74545	17,0	21,0
1985	376434	474162	1,2	1,5	2036	60627	71617	17,1	21,1
1986	428800	539510	1,6	2,1	2037	58302	68846	17,1	21,1
1987	475763	597951	2,1	2,7	2038	56096	66220	17,2	21,2
1988	518010	650380	2,6	3,3	2039	54002	63728	17,2	21,3
1989	556131	697563	3,2	4,0	2040	52012	61362	17,3	21,3
1990	590634	740155	3,8	4,8	2041	50118	59111	17,3	21,4
1991	621954	778721	4,4	5,5	2042	48314	56969	17,4	21,5
1992	650467	813744	5,1	6,4	2043	46595	54928	17,4	21,5
1993	676497	845643	5,7	7,2	2044	44953	52982	17,5	21,6
1994	700328	874779	6,4	8,1	2045	43385	51123	17,5	21,6
1995	722201	901465	7,2	9,0	2046	41886	49347	17,6	21,7
1996	742332	925973	7,9	9,9	2047	40452	47648	17,6	21,7
1997	760904	948539	8,7	10,9	2048	39079	46023	17,6	21,8
1998	683459	849572	9,3	11,7	2049	37762	44465	17,7	21,8
1999	615846	763393	10,0	12,5	2050	36500	42972	17,7	21,8
2000	556659	688150	10,5	13,2	2051	35289	41540	17,8	21,9
2001	504709	622281	11,0	13,8	2052	34125	40166	17,8	21,9
2002	458987	564459	11,5	14,3	2053	33008	38845	17,8	22,0
2003	418636	513564	11,9	14,9	2054	31933	37576	17,9	22,0
2004	382927	468643	12,3	15,3	2055	30900	36356	17,9	22,0
2005	351241	428883	12,6	15,8	2056	29905	35182	17,9	22,1
2006	323048	393596	13,0	16,1	2057	28947	34051	17,9	22,1
2007	297894	362192	13,3	16,5	2058	28024	32963	18,0	22,1
2008	275391	334168	13,5	16,8	2059	27134	31914	18,0	22,2
2009	255206	309091	13,8	17,2	2060	26277	30903	18,0	22,2
2010	237054	286591	14,0	17,4	2061	25449	29928	18,1	22,2
2011	220687	266351	14,2	17,7	2062	24651	28987	18,1	22,3
2012	205892	248096	14,5	18,0	2063	23881	28079	18,1	22,3
2013	192485	231588	14,6	18,2	2064	23137	27203	18,1	22,3
2014	180306	216624	14,8	18,4	2065	22418	26357	18,1	22,3
2015	169216	203025	15,0	18,6	2066	21724	25539	18,2	22,4
2016	159094	190637	15,2	18,8	2067	21053	24749	18,2	22,4
2017	149833	179325	15,3	19,0	2068	20405	23986	18,2	22,4
2018	141343	168972	15,4	19,1	2069	19778	23248	18,2	22,4
2019	133542	159475	15,6	19,3	2070	19171	22534	18,3	22,5
2020	126358	150745	15,7	19,5	2071	18585	21843	18,3	22,5
2021	119729	142703	15,8	19,6	2072	18017	21176	18,3	22,5
2022	113600	135278	15,9	19,7	2073	17468	20530	18,3	22,5
2023	107922	128409	16,0	19,9	2074	16936	19904	18,3	22,5
2024	102652	122043	16,1	20,0	2075	16422	19299	18,3	22,6
2025	97751	116130	16,2	20,1	2076	15924	18713	18,4	22,6
2026	93186	110630	16,3	20,2	2077	15441	18146	18,4	22,6
2027	88925	105503	16,4	20,3	2078	14974	17596	18,4	22,6
2028	84942	100715	16,5	20,4	2079	14522	17064	18,4	22,6
2029	81212	96238	16,6	20,5	2080	14083	16549	18,4	22,7
2030	77715	92043	16,7	20,6					

Tabel 2.1. Beregnet gasproduktion for etape 0 i perioden 1980-2080.



Figur 2.1. prognose af CH₄-produktionen for etape 0 (min/max).

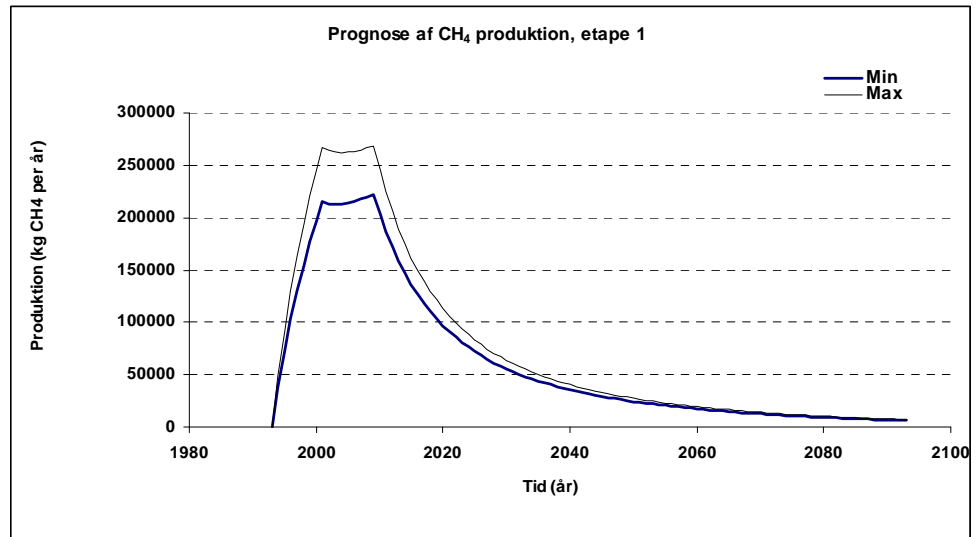


Figur 2.2. Prognose af den akkumulerede CH₄-produktion for etape 0 (min/max).

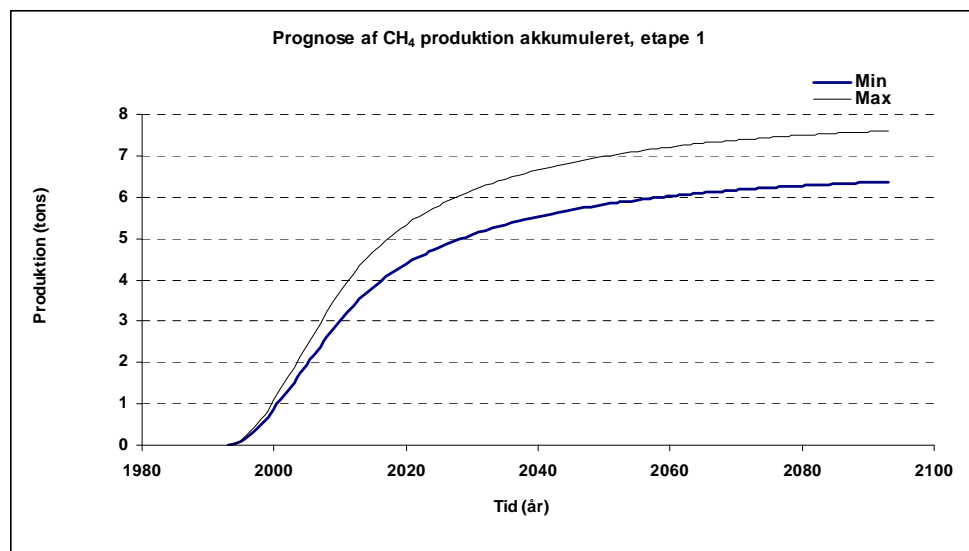
3 Gasprognose for etape 1

År	CH4 produktion [1]		CH4 produktion akkumuleret		År	CH4 produktion [1]		CH4 produktion akkumuleret	
	MIN	MAX	MIN	MAX		MIN	MAX	MIN	MAX
[2]	kg år-1	kg år-1	Mg	Mg	[2]	kg år-1	kg år-1	Mg	Mg
1980					2031	52910	60514	5,1	6,2
1981					2032	50460	57631	5,2	6,3
1982					2033	48171	54944	5,2	6,3
1983					2034	46030	52436	5,3	6,4
1984					2035	44024	50092	5,3	6,4
1985					2036	42141	47896	5,4	6,5
1986					2037	40371	45836	5,4	6,5
1987					2038	38705	43900	5,5	6,6
1988					2039	37135	42080	5,5	6,6
1989					2040	35653	40364	5,5	6,7
1990					2041	34251	38745	5,6	6,7
1991					2042	32925	37215	5,6	6,7
1992					2043	31668	35768	5,6	6,8
1993	0	0	0,0	0,0	2044	30476	34398	5,7	6,8
1994	38644	48657	0,0	0,0	2045	29344	33098	5,7	6,8
1995	72931	91664	0,1	0,1	2046	28267	31863	5,7	6,9
1996	103452	129802	0,2	0,3	2047	27242	30690	5,7	6,9
1997	130710	163732	0,3	0,4	2048	26265	29573	5,8	6,9
1998	155132	194018	0,5	0,6	2049	25333	28509	5,8	7,0
1999	177084	221139	0,7	0,8	2050	24444	27495	5,8	7,0
2000	196880	245505	0,9	1,1	2051	23594	26527	5,8	7,0
2001	214787	267466	1,1	1,4	2052	22782	25603	5,9	7,0
2002	213415	264543	1,3	1,6	2053	22004	24718	5,9	7,1
2003	212992	262909	1,5	1,9	2054	21259	23872	5,9	7,1
2004	213329	262314	1,7	2,2	2055	20544	23062	5,9	7,1
2005	214269	262549	1,9	2,4	2056	19859	22286	5,9	7,1
2006	215685	263447	2,2	2,7	2057	19202	21541	6,0	7,1
2007	217472	264866	2,4	2,9	2058	18570	20827	6,0	7,2
2008	219544	266695	2,6	3,2	2059	17963	20140	6,0	7,2
2009	221831	268838	2,8	3,5	2060	17380	19481	6,0	7,2
2010	203254	245341	3,0	3,7	2061	16818	18847	6,0	7,2
2011	186735	224533	3,2	3,9	2062	16277	18237	6,1	7,2
2012	172009	206056	3,4	4,2	2063	15757	17650	6,1	7,3
2013	158844	189605	3,5	4,3	2064	15255	17085	6,1	7,3
2014	147046	174918	3,7	4,5	2065	14772	16540	6,1	7,3
2015	136443	161771	3,8	4,7	2066	14305	16015	6,1	7,3
2016	126892	149971	3,9	4,8	2067	13856	15509	6,1	7,3
2017	118265	139353	4,1	5,0	2068	13422	15021	6,1	7,3
2018	110454	129774	4,2	5,1	2069	13003	14550	6,2	7,4
2019	103365	121110	4,3	5,2	2070	12598	14095	6,2	7,4
2020	96915	113255	4,4	5,3	2071	12207	13656	6,2	7,4
2021	91033	106117	4,5	5,4	2072	11829	13232	6,2	7,4
2022	85658	99613	4,6	5,5	2073	11464	12823	6,2	7,4
2023	80734	93674	4,6	5,6	2074	11111	12427	6,2	7,4
2024	76213	88240	4,7	5,7	2075	10770	12044	6,2	7,4
2025	72054	83255	4,8	5,8	2076	10440	11674	6,2	7,4
2026	68221	78673	4,9	5,9	2077	10121	11316	6,2	7,5
2027	64679	74452	4,9	6,0	2078	9812	10970	6,3	7,5
2028	61402	70556	5,0	6,0	2079	9513	10635	6,3	7,5
2029	58362	66953	5,0	6,1	2080	9224	10311	6,3	7,5
2030	55539	63614	5,1	6,2					

Tabel 3.1. Beregnet gasproduktion for etape 1 i perioden 1980-2080.



Figur 3.1. prognose af CH₄-produktionen for etape 1 (min/max).



Figur 3.2. Prognose af den akkumulerede CH₄-produktion for etape 1 (min/max).

4 Referencer

Lemming, G., Kjeldsen, P., 2006. Initial Characterization of Fakse Landfill. Report D2.4.1 for the EU LIFE III project LIFE05 ENV/DK/000141 "Reduction of Greenhouse Gas Emissions from Landfills by use of Engineered Bio-covers", <<http://www.biocover.env.dtu.dk/files/Initial%20characterisation%20of%20Fakse%20Landfill.pdf>>.

Scheutz, C. & Kjeldsen, P. 2011. Metoder til opgørelse af emissioner fra danske deponeringsanlæg til brug for PRTR-indrapportering. Rapport til Miljøstyrelsen.

Scheutz, C., Fredenslund, A.M., Nedenskov, J., Samuelsson, J. and Kjeldsen, P. 2011. Gas production, composition and emission at a modern disposal site receiving waste with a low organic content. *Waste Management* 31(5), 946-955.

Scheutz, C., Fredenslund, A.M., Lemming, G. & Kjeldsen, P. 2007. Investigation of emissions from the AV Miljø Landfill - 1. Gas quantity, quality and attenuation properties. Institute of Environment & Resources, Technical University of Denmark, Kgs. Lyngby. pp. 1-89 + appendix.